

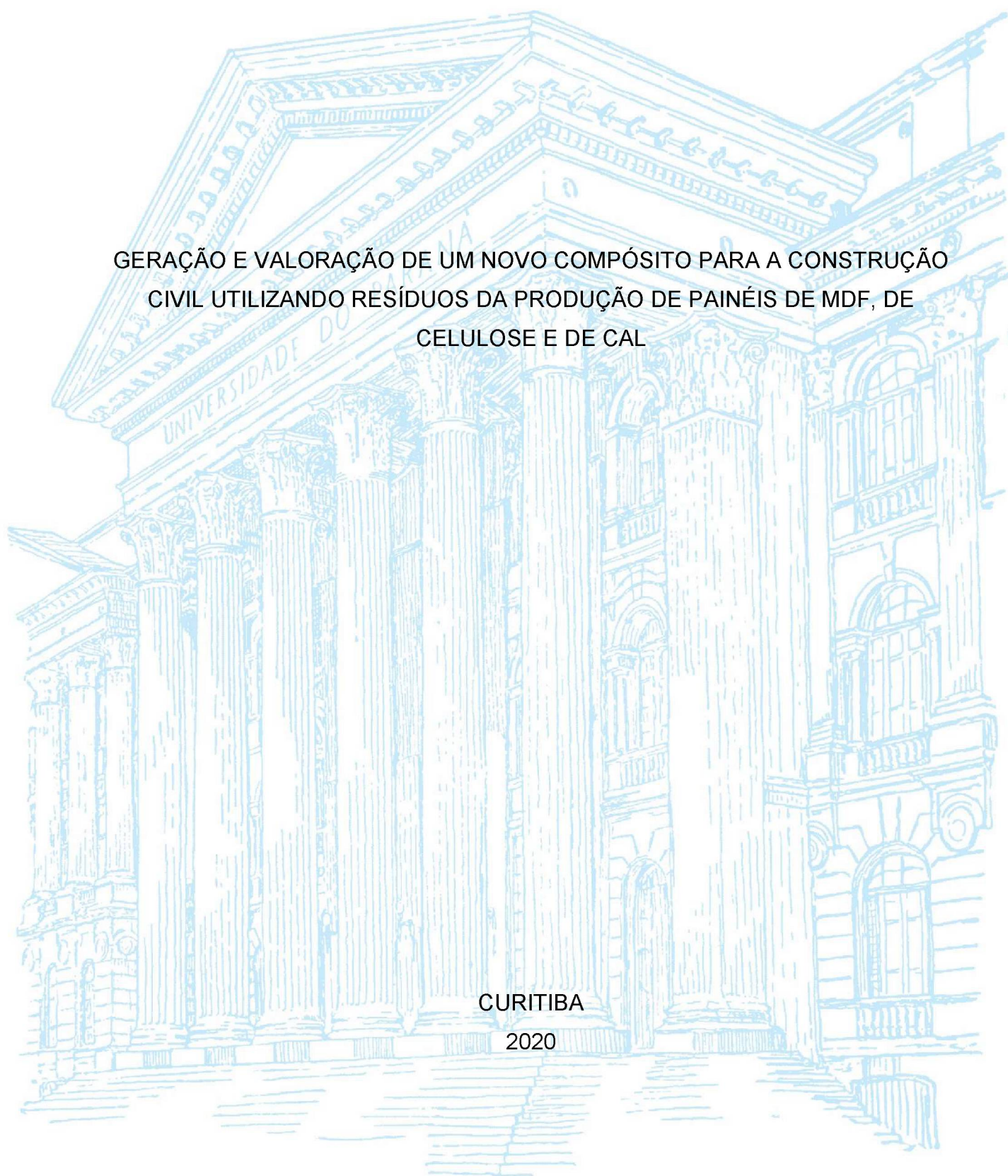
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

STÉPHANIE ABISAG SÁEZ MEYER PIAZZA

GERAÇÃO E VALORAÇÃO DE UM NOVO COMPÓSITO PARA A CONSTRUÇÃO  
CIVIL UTILIZANDO RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MDF, DE  
CELULOSE E DE CAL

CURITIBA

2020



STÉPHANIE ABISAG SÁEZ MEYER PIAZZA

GERAÇÃO E VALORAÇÃO DE UM NOVO COMPÓSITO PARA A CONSTRUÇÃO  
CIVIL UTILIZANDO RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MDF, DE  
CELULOSE E DE CAL

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Urivald Pawlowsky

Coorientador: Prof. Dr. Vsévolod Mymrine

CURITIBA

2020



Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR  
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

P584g Piazza, Stéphanie Abisag Saez Meyer

Geração e valorização de um novo compósito para a construção civil utilizando resíduos da produção de painéis de MDF, de celulose e de cal [recurso eletrônico] / Stéphanie Abisag Saez Meyer Piazza. – Curitiba, 2020.

Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA), 2020.

Orientador: Urivald Pawlowsky.

Coorientador: Vsévolod Mymrine.

1. Resíduos industriais - Aspectos ambientais. 2. Materiais de construção. 3. Desempenho - Avaliação. I. Universidade Federal do Paraná. II. Pawlowsky, Urivald. IV. Mymrine, Vsévolod. V. Título.

CDD: 331.041

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE  
RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL - 40001016021P0

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **STÉPHANIE ABISAG SAEZ MEYER PIAZZA** intitulada: **GERAÇÃO E VALORAÇÃO DE UM NOVO COMPÓSITO PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL UTILIZANDO RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MDF, DE CELULOSE E DE CAL**, sob orientação do Prof. Dr. URIVALD PAWLOWSKY, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 26 de Novembro de 2020.

Assinatura Eletrônica

01/12/2020 16:31:52.0

URIVALD PAWLOWSKY

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

01/12/2020 11:38:19.0

MARCELL MARIANO CORRÊA MACENO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

01/12/2020 10:18:58.0

MIGUEL MANSUR AISSE

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

01/12/2020 16:34:40.0

MARÍA DEL PILAR DURANTE INGUNZA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE)

Assinatura Eletrônica

02/12/2020 21:08:25.0

MARIA CRISTINA BORBA BRAGA

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico esta tese a minha amada tia Rosy Sáez (in memoriam), cuja presença foi essencial e inspiradora na minha vida.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela realização desse sonho que tenho desde criança, nem parece verdade que agora mais uma etapa foi vencida. A jornada não foi fácil, mas veio com muitos ensinamentos e um fortalecimento ímpar. Hoje, vejo minha mente muito mais aberta à ciência e à pesquisa. Com todo o amadurecimento nesse caminho, Deus foi quem me capacitou, ajudou, deu forças dia a dia para não desistir, mas buscar dar meu máximo e meu melhor a cada passo.

Quero agradecer ao meu marido Luiz Fernando Piazza. Ele esteve literalmente comigo em todos os momentos. Desde as visitas à indústria, coleta de materiais, confecção dos corpos de prova, dividindo cada etapa e caminho nessa nossa longa jornada. Mais que carinho e amor, sempre me incentivou com palavras de ânimo e faz a minha vida mais feliz e completa. Obrigada por tudo, todo carinho, apoio, caronas até os lugares onde eu precisava ir e por ser sempre meu apoiador em tudo o que eu faço. Minha vitória também é sua, e é para o nosso crescimento.

Quero agradecer a minha família, sempre apoiando e presente. Torcendo e mandando palavras de incentivo quando o cansaço ou desânimo quiseram aparecer, cada palavra de carinho e oração deram novo ânimo para levantar e seguir em frente. Obrigada meus pais, Jorge e Marcela, minha mana Carolina e cunhado Guilherme, minhas sobrinhas Annie e Nicole, meu irmão Leandro e cunhada e Day e meu sobrinho Cayan. Obrigada minhas tias Alicia, Vero, Jeczy e Tata por sempre se preocuparem e perguntarem como eu estava e sempre se sentindo orgulhosas da minha caminhada. Obrigada meus sogros, Edilene e Luiz Américo, sempre junto, ouvindo e apoiando em tudo.

Só tenho a agradecer aos meus orientadores maravilhosos Prof<sup>o</sup> Dr. Urivald Pawlowsky e Prof<sup>o</sup> Dr. Vsévolod Mymrine, sempre presentes e dispostos a tirar qualquer dúvida. Admiro-os muito por serem destaques nas suas áreas, me fazem ter muito orgulho de vocês e uma felicidade enorme de poder partilhar meu mestrado e doutorado com vocês. Obrigada pelo incentivo, cuidado, zelo e por sempre estarem disponíveis para me ajudar. Obrigada por me aceitarem a fazer parte dos alunos que tiveram o privilégio de serem orientados por vocês.

Quero também agradecer aos meus professores da banca da defesa e qualificações, os quais eu admiro muito. Prof<sup>a</sup> Dra. Cris Braga, Prof Dr. Miguel Aisse, Prof Dr. Daniel Santos, Prof Dr. Marcell Maceno e Prof<sup>a</sup> Dra. Maria del Pilar Ingunza,

obrigada pela instrução, por nos ajudar a deixar o trabalho sempre mais enriquecido com suas contribuições. Obrigada pelo carinho e atenção em cada detalhe, mesmo em tempos difíceis de pandemia, vocês estiveram presentes e aceitaram o desafio. Agradeço e sei que essa tese também é resultado da avaliação e recomendação de cada um de vocês.

Obrigada meus colegas da UFPR, principalmente os da sala PH 17, com os quais pude passar mais tempo nas tardes de escrita na “salinha”. Obrigada também aos demais colegas do PPGERHA e a todos os professores que dividem seus ensinamentos nos dando seu melhor em cada aula e palestra.

Agradeço ao pessoal dos laboratórios que me ajudaram de maneira incondicional nas análises: Walderson Klitzke (Laboratório de cerâmica - UFPR), Alexandre Gonçalves (CMCM - UTFPR), Rodrigo Metz (LaMats - UFPR), Bruna Marcon (Fiocruz), Guilherme Fedalto (Lamir - UFPR) e Franciele de Oliveira Czervinski (Lamir - UFPR).

Agradeço ao apoio e incentivo da empresa Berneck Painéis e Serrados Ltda, em especial à Mariane Janz Dummer, ao Daniel Berneck, ao Olezir Princival Filho e à Aline Baggio, os quais me acompanharam em cada etapa de conhecimento da empresa, coleta de materiais, discussão dos resultados e apoio financeiro nas análises laboratoriais.

Agradeço ainda à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de estudos; ao PPGERHA, à UFPR e à UTFPR pelos recursos e instalações essenciais para a realização deste trabalho.

*“Não ande apenas pelo caminho traçado, pois ele conduz somente até onde  
os outros já foram”.*

(Alexandre Graham Bell, 1847 – 1922)



## RESUMO

Uma das necessidades enfrentada pela indústria é a minimização e o aproveitamento dos resíduos, pois possibilitam a redução dos custos de produção, diminuem o gasto com tratamento e disposição, e, ainda, protege o meio ambiente. Nesse quesito a utilização de modelos matemáticos é importante, pois atuam como agentes facilitadores da análise para o gerenciamento de resíduos. Esta pesquisa visou realizar o aproveitamento dos resíduos da indústria de MDF (cinzas, lodo físico-químico e areia), dos resíduos da indústria de celulose (*dregs*, *grits* e lama de cal) e dos resíduos da produção de cal para gerar um novo compósito para a construção civil com características de concreto e avaliar as mudanças nas propriedades mecânicas e nas estruturas morfológicas dos corpos de prova durante os períodos de cura de: 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180 e 365 dias. Além disso, foi realizada a valoração e a avaliação do desempenho dos aspectos ambientais relacionados aos resíduos de MDF e dos compósitos gerados por meio de um modelo matemático (EPIP – *analytical tool for Environmental Performance in Industrial Processes*). No total, foram desenvolvidas 35 composições em diferentes proporções de resíduos e confeccionados 825 corpos de prova. Com o auxílio de uma prensa manual, os corpos de prova com diâmetro 20mm e altura de 20mm foram compactados até a pressão de 10 MPa, com tempo de permanência nesta pressão de 30 segundos. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial, absorção de água e dilatação atenderam às demandas das Normas Brasileiras. Entre todas as composições destacaram-se as de número 5 e 11, pois apresentaram maiores resistências. Estas composições obtiveram resistências à compressão de 7,63 MPa e 15,32 MPa a 365 dias de cura. Também foram realizadas análises dos processos físico-químicos de formação de estruturas, para explicação desse ganho de resistência. Pelos métodos de Difração de Raio-X, Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Energia Dispersiva foram determinadas as interações físico-químicas dos componentes das misturas iniciais e os processos de formação das estruturas dos novos materiais. O aumento dos valores das propriedades mecânicas observadas durante a cura ocorreu em função da dissolução das superfícies das partículas sólidas dos componentes em ambiente alcalino, ocasionando a síntese das novas formações amorfas e cristalinas. Os resultados desta avaliação permitem concluir que os resíduos de celulose associados aos resíduos de MDF e ao resíduo da produção de cal podem ser utilizados como matéria prima em compósitos destinados à construção civil. Quanto ao desempenho ambiental, foi verificado que os aspectos mais impactantes são a geração do efluente e das cinzas. A utilização da ferramenta analítica EPIP permitiu análise aprofundada da valorização dos resíduos e do desempenho ambiental dos resíduos da indústria de MDF e dos compósitos gerados.

Palavras-chave: Resíduos industriais de cunho florestal. Materiais de construção. Propriedades mecânicas. Avaliação de desempenho ambiental. EPIP.

## ABSTRACT

One of the needs faced by the industry is the minimization and utilization of wastes, as these make it possible to reduce production costs, reduce its spending on treatment and disposal, and still protect the environment. In this regard, the use of mathematical models is important because they act as facilitators of waste management analysis. The aim of this work was to use residues of the MDF industry (ash, physical-chemical sludge and sand), of the cellulose industry (*dregs*, *grits* and lime mud) and those from the lime production to develop new composites for civil construction as well as evaluate the changes in the mechanical properties and morphological structures of the constituent materials during the curing periods of 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180 and 365 days. In addition, the environmental aspects related to MDF waste and composites generated were evaluated by running a mathematical model (EPIP – *analytical tool for Environmental Performance in Industrial Processes*). Thirty-five compositions were developed in different proportions of residues and 825 specimens were prepared. A manual press was used to produce specimens with diameter 20mm and height of 20mm compacted until the pressure of 10 MPa, with dwell time in this pressure of 30 seconds. The results of the tests of resistance to uniaxial compression, water absorption and expansion met the demands of the Brazilian Standards. Among all compositions, the numbers 5 and 11 were outstanding, with the highest resistances. These compositions were subjected to compressive strength of 7.63 MPa and 15.32 at 365 days of cure. Analyzes of the physicochemical processes of structure formation were also carried out to evaluate this gained resistance. By the methods of X-ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy and Energy Spectroscopy the physicochemical interactions of the components of the initial mixtures and the processes of formation of the structures of the new materials were determined. The increase in the mechanical properties observed during curing occurred as a function of dissolution of solid particles surfaces of the components in an alkaline environment, which resulted in the synthesis of the new amorphous and crystalline formations. The results of this evaluation allow concluding that residues of cellulose associated with residues of MDF and those of lime production can be used as raw material in composites for civil construction. As for environmental performance, the most impacting aspects were the generation of effluent and ash. The use of the EPIP analytical tool allowed an in-depth analysis of the valuation of waste and the environmental performance of waste from the MDF industry and the composites generated.

**Keywords:** Industrial forest waste. Construction materials. Mechanical properties. Environmental performance evaluation. EPIP.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – HIERARQUIA DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS APROVADA PELA UNIÃO EUROPÉIA .....	21
FIGURA 2 – DIFERENÇAS ENTRE O MODELO MATEMÁTICO DE CERCAL E DE MACENO (EPIP) .....	39
FIGURA 3 – PRODUÇÃO E CONSUMO DE CELULOSE NO BRASIL DE 2006 A 2016 .....	41
FIGURA 4 – PRODUÇÃO E CONSUMO DE PAPEL NO BRASIL DE 2006 A 2016	41
FIGURA 5 – PRODUÇÃO E CONSUMO DE PAINÉIS NO BRASIL DE 2006 A 2016 .....	42
FIGURA 6 – PROCESSO PRODUTIVO DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MDF .....	45
FIGURA 7 – ETAPAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAINÉIS DE MDF E GERAÇÃO DE RESÍDUO .....	47
FIGURA 8 – TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DOS EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MDF .....	48
FIGURA 9 – ETAPAS DO PROCESSAMENTO DA CELULOSE KRAFT PARA A FABRICAÇÃO DO PAPEL .....	51
FIGURA 10 – RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE CELULOSE .....	52
FIGURA 11 – ETAPAS DA PRODUÇÃO DE CAL .....	55
FIGURA 12 – ETAPAS DE CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS E DOS CORPOS DE PROVA .....	59
FIGURA 13 – MOINHO DE BOLAS E MOINHO DE FACAS .....	61
FIGURA 14 – MOLDE DE AÇO PARA CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	63
FIGURA 15 – PRENSA MANUAL PARA CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA .....	64
FIGURA 16 – ESPECTRÔMETRO DE FLUORESCÊNCIA PARA ANÁLISE DE FRX .....	68
FIGURA 17 – DIFRATÔMETRO PARA ANÁLISE DE DRX .....	69
FIGURA 18 – PREPARAÇÃO E METALIZAÇÃO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS	71
FIGURA 19 – PRENSA EMIC PARA ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL .....	73
FIGURA 20 – ETAPAS DE TRABALHO PARA UTILIZAÇÃO E APLICAÇÃO DO MODELO EPIP EM UMA INDÚSTRIA .....	77



FIGURA 21 – INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MDF E RESPECTIVOS RESÍDUOS: (a) AREIA, (b) LODO FÍSICO-QUÍMICO E (c) CINZAS .....	78
FIGURA 22 – INDÚSTRIA DE CELULOSE E LOCAIS DE COLETA DOS RESÍDUOS: (a) DREGS, (b) GRITS E (c) LAMA DE CAL.....	79
FIGURA 23 – INDÚSTRIA DE CAL E LOCAL DE COLETA DO RPC .....	79
FIGURA 24 – RESÍDUOS “IN NATURA” E APÓS SECAGEM POR 2 DIAS, NA SEQUÊNCIA (a) LAMA DE CAL, (b) DREGS, (c) LODO FÍSICO-QUÍMICO, (d) AREIA, (e) GRITS E (f) CINZAS .....	80
FIGURA 25 – DIFRATOGRAMA DA CINZA .....	84
FIGURA 26 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DAS CINZAS.....	85
FIGURA 27 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DAS CINZAS	85
FIGURA 28 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DAS CINZAS .....	86
FIGURA 29 – DIFRATOGRAMA DO LODO FÍSICO-QUÍMICO .....	88
FIGURA 30 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DO LODO FÍSICO-QUÍMICO .....	89
FIGURA 31 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DO LODO FÍSICO-QUÍMICO .....	90
FIGURA 32 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DO LODO FÍSICO-QUÍMICO .....	91
FIGURA 33 – AREIA COM A PRESENÇA DE PEDREGULHOS E PREGOS.....	91
FIGURA 34 – DIFRATOGRAMA DA AREIA .....	93
FIGURA 35 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA AREIA.....	94
FIGURA 36 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DA AREIA.....	94
FIGURA 37 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DA AREIA.....	95
FIGURA 38 – DIFRATOGRAMA DO DREGS .....	98
FIGURA 39 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DOS DREGS.....	99
FIGURA 40 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DO DREGS ..	99
FIGURA 41 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DO DREGS .....	100
FIGURA 42 – DIFRATOGRAMA DO GRITS.....	103
FIGURA 43 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DO GRITS.....	104
FIGURA 44 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DO GRITS ..	104
FIGURA 45 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DO GRITS .....	105
FIGURA 46 – DIFRATOGRAMA DA LAMA DE CAL .....	107

FIGURA 47 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA LAMA DE CAL .....	108
FIGURA 48 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DA LAMA DE CAL .....	109
FIGURA 49 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DA LAMA DE CAL..	109
FIGURA 50 – DIFRATOGRAMA DO RPC .....	111
FIGURA 51 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DO RPC .....	112
FIGURA 52 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DO RPC.....	113
FIGURA 53 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DO RPC .....	113
FIGURA 54 – CORPOS DE PROVA CONFECCIONADOS.....	117
FIGURA 55 – CORPOS DE PROVA CONFECCIONADOS COM RANHURAS .....	118
FIGURA 56 – DILATAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	119
FIGURA 57 – CORPO DE PROVA APÓS TESTE DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL .....	120
FIGURA 58 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL DOS CORPOS DE PROVA .....	121
FIGURA 59 – ASPECTO DA CINZA APÓS CALCINAÇÃO NA MUFLA.....	124
FIGURA 60 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL DOS CORPOS DE PROVA COM CINZA REQUEIMADA .....	134
FIGURA 61 – DILATAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM CINZA REQUEIMADA .....	137
FIGURA 62 – RESISTÊNCIAS AMOSTRAS SECAS E ÚMIDAS DAS COMPOSIÇÕES 5 (a, b) E 11 (c, d) AOS 28 E 90 DIAS DE CURA	138
FIGURA 63 – DIFRATOGRAMAS DA COMPOSIÇÃO 5 (MDF + CELULOSE) AOS (A) 3, (B) 90 e (C) 365 DIAS DE CURA .....	140
FIGURA 64 – DIFRATOGRAMAS DA COMPOSIÇÃO 11 (APENAS MDF) AOS (A) 3, (B) 90 E (C) 365 DIAS DE CURA.....	141
FIGURA 65 – AMOSTRAS DAS (a) COMPOSIÇÕES 5 E (b) 11 AOS 90 E 365 DIAS METALIZADAS .....	144
FIGURA 66 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA COMPOSIÇÃO 5 COM 3, 90 E 365 DIAS .....	145
FIGURA 67 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DA COMPOSIÇÃO 5 COM 90 E 365 DIAS .....	146

FIGURA 68 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DA COMPOSIÇÃO 5 COM 90 E 365 DIAS .....	148
FIGURA 69 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA COMPOSIÇÃO 11 COM 3, 90 E 365 DIAS .....	149
FIGURA 70 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DA COMPOSIÇÃO 11 COM 90 E 365 DIAS .....	151
FIGURA 71 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DA COMPOSIÇÃO 11 COM 90 E 365 DIAS .....	152
FIGURA 72 – DELIMITAÇÃO DA GERAÇÃO DOS RESÍDUOS (1) CINZAS, (2) LOFO FÍSICO-QUÍMICO E (3) AREIA NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAINÉIS DE MDF .....	160
FIGURA 73 – DIAGRAMA DE ENTRADAS E SAÍDAS DA CALDEIRA .....	161
FIGURA 74 – CALDEIRA E ARMAZENAMENTO DE CINZAS .....	161
FIGURA 75 – CÁLCULO GASTO COM TRANSPORTE ATÉ GRAMEIRAS .....	163
FIGURA 76 – DIAGRAMA DE ENTRADAS E SAÍDAS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE .....	163
FIGURA 77 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE E SEPARAÇÃO DE LODO BIOLÓGICO E LODO FÍSICO-QUÍMICO .....	164
FIGURA 78 – CÁLCULO GASTO COM TRANSPORTE ATÉ ESSENCIS .....	166
FIGURA 79 – DIAGRAMA DE GERAÇÃO DA AREIA .....	166
FIGURA 80 – ENTRADA E SAÍDA DO DESCASCADOR .....	167
FIGURA 81 – IMÃ PARA REMOÇÃO DOS METAIS (PREGOS) .....	167
FIGURA 82 – CÁLCULO GASTO COM TRANSPORTE ATÉ A EMPRESA DE ARTEFATOS TUBOVAN .....	168
FIGURA 83 – RESULTADOS OBTIDOS DOS CUSTOS PARA CADA ASPECTO AMBIENTAL PELA EPIP APLICADA A INDÚSTRIA DE MDF .....	174



## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – FORMAS DE MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS.....	23
QUADRO 2 – ANÁLISES LABORATORIAIS DOS RESÍDUOS.....	60
QUADRO 3 – ANÁLISES LABORATORIAIS DOS CORPOS DE PROVA.....	65
QUADRO 4 – ANÁLISES DE UMIDADE DOS RESÍDUOS .....	81
QUADRO 5 – CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS REFERENTE À PERDA AO FOGO, FRX E DRX .....	114
QUADRO 6 – PESAGEM DA CINZA ANTES E APÓS CALCINAÇÃO EM MUFLA.....	124
QUADRO 7 – RESUMO DAS ESTRUTURAS CRISTALINAS IDENTIFICADAS NOS DIFRATOGRAMAS DAS COMPOSIÇÕES 5 E 11 AOS 3, 90 365 DIAS DE CURA.....	142
QUADRO 8 – LEVANTAMENTO DE PROCESSOS, ASPECTOS AMBIENTAIS, ENTRADAS E SAÍDAS / RESÍDUOS .....	170
QUADRO 9 – DADOS DE ENTRADA DO MODELO EPIP PARA REALIZAÇÃO DO CÁLCULO DE CUSTOS DE PERDA MATERIAL (CPM) PARA A INDÚSTRIA DE MDF .....	171
QUADRO 10 – DADOS DE ENTRADA DO MODELO EPIP PARA REALIZAÇÃO DOS CÁLCULOS DOS CUSTOS DE ENERGIA CONSUMIDA (CEC) E DOS CUSTOS DE DESTINO MATERIAL (CDM) PARA A INDÚSTRIA DE INDÚSTRIA DE MDF .....	172
QUADRO 11 – LEVANTAMENTO DE PROCESSOS, ASPECTOS AMBIENTAIS, ENTRADAS E SAÍDAS / RESÍDUOS .....	173

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	25
TABELA 2 – RESUMO DO EQUACIONAMENTO MATEMÁTICO EPIP .....	37
TABELA 3 – COMPOSIÇÕES DOS CORPOS DE PROVA.....	62
TABELA 4 – PRODUÇÃO MENSAL DOS RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE MDF E CELULOSE.....	80
TABELA 5 – COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DAS CINZAS .....	82
TABELA 6 – RESULTADOS DA FRX PARA A CINZA REQUEIMADA .....	83
TABELA 7 – RESULTADOS DA DRX PARA A CINZA.....	84
TABELA 8 – ANÁLISE ATÔMICA DAS CINZAS PELO MÉTODO EDS .....	86
TABELA 9 – COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DO LODO FÍSICO-QUÍMICO .....	87
TABELA 10 – RESULTADOS DA FRX PARA O LODO FÍSICO-QUÍMICO .....	88
TABELA 11 – RESULTADOS DA DRX PARA O LODO FÍSICO-QUÍMICO .....	89
TABELA 12 – ANÁLISE ATÔMICA DO LODO FÍSICO-QUÍMICO PELO MÉTODO EDS.....	90
TABELA 13 – COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA AREIA.....	92
TABELA 14 – RESULTADOS DA FRX PARA A AREIA .....	92
TABELA 15 – RESULTADOS DA DRX PARA A AREIA .....	93
TABELA 16 – ANÁLISE ATÔMICA DA AREIA PELO MÉTODO EDS .....	95
TABELA 17 – COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DO DREGS .....	96
TABELA 18 – RESULTADOS DA FRX PARA O DREGS .....	97
TABELA 19 – RESULTADOS DA DRX PARA O DREGS.....	98
TABELA 20 – ANÁLISE ATÔMICA DO DREGS PELO MÉTODO EDS.....	99
TABELA 21 – COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DO GRITS .....	101
TABELA 22 – RESULTADOS DA FRX PARA O GRITS.....	102
TABELA 23 – RESULTADOS DA DRX PARA O GRITS .....	103
TABELA 24 – ANÁLISE ATÔMICA DOS GRITS PELO MÉTODO EDS .....	105
TABELA 25 – COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA LAMA DE CAL.....	106
TABELA 26 – RESULTADOS DA FRX PARA A LAMA DE CAL.....	106
TABELA 27 – RESULTADOS DA DRX PARA A LAMA DE CAL .....	107
TABELA 28 – ANÁLISE ATÔMICA DA LAMA DE CAL PELO MÉTODO EDS .....	109

TABELA 29 – RESULTADOS DA FRX PARA O RPC .....	110
TABELA 30 – RESULTADOS DA DRX PARA O RPC.....	111
TABELA 31 – ANÁLISE ATÔMICA DO RPC PELO MÉTODO EDS.....	113
TABELA 32 – DILATAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM RANHURAS COM 90 DIAS.....	118
TABELA 33 – ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL DOS CORPOS DE PROVA COM RANHURAS.....	120
TABELA 34 – NOVAS COMPOSIÇÕES E ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL DOS CPS COM CINZA REQUEIMADA .....	126
TABELA 35 – ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL DOS CORPOS DE PROVA COM RESÍDUOS DE CELULOSE .....	127
TABELA 36 – DILATAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM CINZA REQUEIMADA AOS 90 DIAS DE CURA .....	136
TABELA 37 – RESISTÊNCIAS DAS AMOSTRAS SECAS E ÚMIDAS DAS COMPOSIÇÕES 5 E 11 AOS 28 E 90 DIAS DE CURA .....	138
TABELA 38 – ANÁLISE ATÔMICA DA COMPOSIÇÃO 5 COM 90 DIAS PELO MÉTODO EDS .....	147
TABELA 39 – ANÁLISE ATÔMICA DA COMPOSIÇÃO 5 COM 365 DIAS PELO MÉTODO EDS .....	147
TABELA 40 – ANÁLISE ATÔMICA DA COMPOSIÇÃO 11 COM 90 DIAS PELO MÉTODO EDS .....	151
TABELA 41 – ANÁLISE ATÔMICA DA COMPOSIÇÃO 11 COM 365 DIAS PELO MÉTODO EDS .....	152
TABELA 42 – CONCENTRAÇÃO DE CONTAMINANTES PARA A MASSA BRUTA DAS COMPOSIÇÕES 5 E 11 A 365 DIAS DE CURA.....	154
TABELA 43 – CONCENTRAÇÃO DE CONTAMINANTES NO EXTRATO SOLUBILIZADO DAS COMPOSIÇÕES 5 E 11 A 365 DIAS DE CURA .....	155
TABELA 44 – CONCENTRAÇÃO DE CONTAMINANTES NO EXTRATO LIXIVIADO DAS COMPOSIÇÕES 5 E 11 A 365 DIAS DE CURA.....	156

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

AA	Aspecto Ambiental
adt	“Air dry ton” ou tonelada “seca ao ar”
ACCV	Análise de Custos do Ciclo de Vida
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos
ADA	Avaliação de Desempenho Ambiental
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida de Produtos
AS	Análise de Sensibilidade
ASAIA	Análise de significância de aspectos e impactos ambientais
CCA	Contabilidade de Custos Ambientais
CQ	Centro de quantidade
CP	Corpo de prova
DA	Desempenho Ambiental
EPIP	<i>Environmental Performance in Industrial Processes</i> (Ferramenta Analítica de Desempenho Ambiental em Processos Industriais)
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
DRX	Difração por raios X
FRX	Fluorescência por raios X
IA	Impacto Ambiental
ISSO	<i>International Standards Organization</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MFCA	<i>Material Flow Cost Accounting</i>
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
RPC	Resíduos da Produção de Cal
SGA	Sistema de Gestão Ambiental

## LISTA DE SÍMBOLOS DA FERRAMENTA EPIP

$AcI(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Acidificação para o aspecto ambiental $n$
$C_{AA}(n)$	Custo equivalente do aspecto ambiental $n$
$C_{AA}T$	Custo equivalente Total da indústria estudada
$CD_{d,1}(n)$	Custo Unitário de cada destino $d$ no aspecto ambiental $n$
$CDM(n)$	Custo de Destino Material
$CE(n)$	Custo Unitário de Energia para o aspecto ambiental $n$
$CEQ(n)$	Custos de Energia Consumida
$CEx$	Custo de Externalidades
$CGG$	Custo de Gestão Global
$CGI(n)$	Custo de Gestão Localizada para o aspecto ambiental $n$
$CM_{m,1}(n)$	Custo unitário do material $m$ no aspecto ambiental $n$
$CPD(n)$	Custo de Pesquisa e Desenvolvimento para o aspecto ambiental $n$
$CPM(n)$	Custos de Perda Material
$CR\%(n)$	Custo relativo equivalente do aspecto ambiental $n$
$CTGL_{GAA}(n)$	Custo total de gestão localizada para $N$ aspectos ambientais
$CTPD_{GAA}(n)$	Custo total de Pesquisa e Desenvolvimento para $P$ aspectos ambientais
$D$	Nº do tipo de destino adotado para o aspecto ambiental $n$
$DAqG(n)$	Fator de caracterização de Danos por Aquecimento Global para o aspecto ambiental $n$
$DQ(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Depleção de Ozônio para o aspecto ambiental $n$
$DQG(n)$	Fator de caracterização de Danos a Qualidade do Ecossistema para o aspecto ambiental $n$
$DRQ(n)$	Fator de caracterização de Danos por Resíduos Gerados para o aspecto ambiental $n$
$DRed(n)$	Fator de caracterização de Danos pelo Uso de Recursos para o aspecto ambiental $n$

$DSH(n)$	Fator de caracterização de Danos à Saúde Humana para o aspecto ambiental $n$
$D_{1_x d}^{\%}(n)$	Porcentagem de material para o destino $d$ no aspecto ambiental $n$
$EC(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Escória e Cinzas para o aspecto ambiental $n$
$Ecd(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Ecotoxicidade para o aspecto ambiental $n$
$EG(n)$	Energia Gasta no aspecto ambiental $n$
$ENR(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Energia Não Renovável para o aspecto ambiental $n$
$ER(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Energia Renovável para o aspecto ambiental $n$
$Eu(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Eutrofização para o aspecto ambiental $n$
$ICEM(n)$	Impacto ambiental do Consumo e Emissão Material para o aspecto ambiental $n$
$IEC(n)$	Impacto ambiental de Energia Consumida para o aspecto ambiental $n$
$M$	Nº do material presente na perda material do aspecto ambiental $n$
$MD(n)$	Quantidade total de material para destino para o aspecto ambiental $n$
$MP_{1_x m}^{\%}(n)$	Porcentagem de cada material $m$ na quantidade total do no aspecto ambiental $n$
$M_{IN}(n)$	Massa total de entrada para o aspecto ambiental $n$
$M_{OUT}(n)$	Massa total de saída para o aspecto ambiental $n$
$N$	Nº do aspecto ambiental levantado
$N_{Aci}$	Fator de normalização da categoria de impacto Acidificação
$N_{AqG}$	Fator de normalização da categoria de impacto Aquecimento Global
$N_{DO}$	Fator de normalização da categoria de impacto Depleção de Ozônio
$N_E$	Fator de normalização das categorias de impacto para Energia
$N_{EC}$	Fator de normalização da categoria de impacto Escória e Cinzas
$N_{Eco}$	Fator de normalização da categoria de impacto Ecotoxicidade

$N_{Eut}$	Fator de normalização da categoria de impacto Eutrofização
$N_{Org}$	Fator de normalização da categoria de impacto Respiração de compostos Orgânicos
$N_{RCNR}$	Fator de normalização da categoria de impacto Recursos Combustíveis Não Renováveis
$N_{RI}$	Fator de normalização da categoria de impacto Radiação Ionizante
$N_{RIn}$	Fator de normalização da categoria de impacto Respiração de compostos Inorgânicos
$N_{RNP}$	Fator de normalização da categoria de impacto Resíduo Não Perigoso
$N_{RP}$	Fator de normalização da categoria de impacto Resíduo Perigoso
$N_{RM}$	Fator de normalização da categoria de impacto Recursos Minerais
$N_{RR}$	Fator de normalização da categoria de impacto Resíduo Radioativo
$N_{SO}$	Fator de normalização da categoria de impacto Solo Ocupado
$N_{ST}$	Fator de normalização da categoria de impacto Solo Transformado
$N_{TH}$	Fator de normalização da categoria de impacto Toxicidade Humana
$N_{UA}$	Fator de normalização da categoria de impacto Uso da Água
$P_{Aci}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Acidificação
$PD_{AqG}$	Fator de ponderação de danos pelo Aquecimento Global
$P_{DO}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Depleção de Ozônio
$PD_{QE}$	Fator de ponderação de danos a qualidade do ecossistema
$PD_{Rec}$	Fator de ponderação de danos pelo Uso de Recursos
$PD_{SH}$	Fator de ponderação de danos à saúde humana
$P_{EC}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Escória e Cinzas
$P_{Eco}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Ecotoxicidade
$PE(n))$	Porcentagem de energia usada pelo aspecto ambiental $n$
$P_{ENR}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Energia Não Renovável
$P_{ER}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Energia Renovável
$P_{Eut}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Eutrofização

$P_{RCNR}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Recursos Combustíveis Não Renováveis
$P_{RI}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Radiação Ionizante
$P_{RIIn}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Respiração de compostos Inorgânicos
$P_{RM}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Recursos Minerais
$P_{RNP}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Resíduo Não Perigoso
$P_{ROrg}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Respiração de compostos Orgânicos
$P_{RP}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Resíduo Perigoso
$P_{RR}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Resíduo Radioativo
$P_{SO}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Solo Ocupado
$P_{ST}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Solo Transformado
$P_{TH}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Toxicidade Humana
$P_{UA}$	Fator de ponderação da categoria de impacto Uso da Água
$RCNR(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Recursos Combustíveis Não Renováveis para o aspecto ambiental $n$
$RI(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Radiação Ionizante para o aspecto ambiental $n$
$RIIn(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Respiração de compostos Inorgânicos para o aspecto ambiental $n$
$RM(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Recursos Minerais para o aspecto ambiental $n$
$RNP(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Resíduo Não Perigoso para o aspecto ambiental $n$
$ROrg(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Respiração de compostos Orgânicos para o aspecto ambiental $n$
$RP(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Resíduo Perigoso para o aspecto ambiental $n$
$RR(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Resíduo Radioativo para o aspecto ambiental $n$



$SO(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Solo Ocupado para o aspecto ambiental $n$
$ST(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Solo Transformado para o aspecto ambiental $n$
$TH(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Toxicidade Humana para o aspecto ambiental $n$
$UA(n)$	Fator de caracterização da categoria de impacto Uso de Água para o aspecto ambiental $n$
$\$Eq$	Unidade Monetária Equivalente

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 HIPÓTESES.....	18
1.2 OBJETIVOS .....	18
1.2.1 Objetivo geral .....	18
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
1.3 ESTRUTURAÇÃO DA TESE .....	19
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
2.1 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS .....	20
2.1.1 Minimização de resíduos.....	22
2.1.2 Aproveitamento de resíduos industriais.....	24
2.1.2.1 Características desejadas de blocos e tijolos para a construção civil.....	25
2.1.2.2 Análises laboratoriais realizadas nas matérias-primas e nos novos compósitos .....	26
2.1.2.2.1 Teor de umidade.....	27
2.1.2.2.2 Composição Granulométrica .....	27
2.1.2.2.3 Composição química por raios X – Fluorescência (FRX) .....	28
2.1.2.2.4 Composição mineralógica por raios X – Difração (DRX) .....	28
2.1.2.2.5 Perda ao fogo .....	29
2.1.2.2.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV), Micro-análise química (EDS) e Mapeamento de elementos químicos .....	29
2.1.2.2.7 Análises térmicas diferencial (ATD) e gravimétrica (ATG).....	30
2.1.2.2.8 Densidade aparente e porosidade aparente.....	31
2.1.2.2.9 Dilatação linear e Resistência a compressão uniaxial .....	31
2.1.2.2.10 Resistência à água e absorção de água.....	32
2.1.2.2.11 Análise de permeabilidade.....	32
2.1.2.2.12 Ensaios de lixiviação e solubilização .....	33
2.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL NAS INDÚSTRIAS .....	33
2.2.1 Priorização de resíduos industriais.....	33
2.2.1.1 Modelos matemáticos de priorização de resíduos.....	34
2.2.1.2 Modelo matemático de desempenho ambiental - EPIP .....	35
2.2.1.2.1 Passos para aplicação do Modelo de desempenho ambiental - EPIP.....	38
2.3 INDÚSTRIAS DE CUNHO FLORESTAL NO BRASIL.....	40

2.3.1 indústrias de painéis de MDF .....	42
2.3.1.1 Geração de resíduos líquidos e resíduos sólidos .....	45
2.3.2 Indústrias de papel e celulose .....	49
2.3.2.1 Resíduos da indústria de papel e celulose .....	51
2.4 INDÚSTRIAS DE CAL NO BRASIL.....	53
2.4.1 Resíduos da Produção de Cal.....	55
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>57</b>
3.1 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS .....	58
3.1.1 Caracterização dos resíduos.....	59
3.1.2 Confeção dos corpos de prova.....	60
3.1.3 Caracterização dos corpos de prova .....	64
3.1.3.1 Análise de Teor de Umidade .....	66
3.1.3.2 Análise de composição granulométrica .....	67
3.1.3.3 Análise de Fluorescência de Raios X (FRX).....	67
3.1.3.4 Análise de Difração de Raios X (DRX) .....	68
3.1.3.5 Análise de perda ao fogo.....	69
3.1.3.6 Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura com Microanálise Química (MEV-EDS) e Mapeamento de elementos químicos .....	69
3.1.3.7 Análise de dilatação linear.....	72
3.1.3.8 Análise de resistência à compressão uniaxial .....	72
3.1.3.9 Análise de absorção de água e resistência à compressão uniaxial.....	73
3.1.3.10 Ensaios de lixiviação e solubilização .....	74
3.1.3.11 Análise estatística .....	75
3.1.3.12 Comparativo com padrões da legislação brasileira vigente .....	75
3.2 VALORAÇÃO DOS RESÍDUOS E DOS COMPÓSITOS PELO MODELO MATEMÁTICO EPIP .....	75
3.2.1 Valoração dos resíduos.....	75
3.2.2 Valoração dos compósitos gerados .....	77
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>78</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS UTILIZADOS COMO MATÉRIAS- PRIMAS.....	78
4.1.1 Cinzas da queima da madeira.....	82
4.1.2 Lodo físico-químico da ETE .....	86
4.1.3 Areia.....	91

4.1.4 Dregs.....	95
4.1.5 Grits.....	100
4.1.6 Lama de cal.....	105
4.1.7 Resíduo da Produção de Cal (RPC) .....	110
4.1.8 Resumo dos Resultados Analíticos da Caracterização dos resíduos .....	114
4.2 CONFECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA .....	117
4.2.1 Dilatação e Resistência à compressão uniaxial com cinza “in natura” .....	118
4.2.2 Resistência à compressão uniaxial com cinza requeimada .....	125
4.2.3 Dilatação linear.....	135
4.2.4 Resistência à água e Absorção de água .....	138
4.2.5 Difração de raios X (DRX) .....	139
4.2.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV), Micro-análise química (EDS) e Mapeamento de elementos químicos.....	144
4.2.6.1 MEV-EDS e Mapeamento de elementos químicos da Composição 5 (MDF + CEL) aos 3, 90 365 dias .....	144
4.2.6.2 MEV-EDS e Mapeamento de elementos químicos da Composição 11 (MDF) aos 3, 90 365 dias .....	148
4.2.7 Ensaios de lixiviação e solubilização.....	153
4.3 VALORAÇÃO DOS RESÍDUOS DE MDF E DOS COMPÓSITOS GERADOS PELO MODELO EPIP .....	159
4.3.1 Valoração dos resíduos de MDF .....	159
4.3.1.1 Cinzas.....	161
4.3.1.2 Lodo físico-químico.....	163
4.3.1.3 Areia .....	166
4.3.2 Aplicação do modelo de desempenho ambiental (EPIP) para os resíduos e compósitos .....	169
4.3.2.1 Geração dos resultados da avaliação de desempenho ambiental .....	170
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>176</b>
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	178
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>179</b>
<b>APÊNDICE 1 – LAUDOS DO LAMIR .....</b>	<b>190</b>
<b>APÊNDICE 2 – LAUDOS DO TECLAB.....</b>	<b>195</b>
<b>APÊNDICE 3 – APLICAÇÃO EPIP .....</b>	<b>214</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Diante da necessidade de se tomar medidas em prol do Desenvolvimento Sustentável e da Logística Reversa existe a possibilidade de reinserção de resíduos ao processo produtivo de maneira a reduzir o descarte de materiais.

A minimização da geração de resíduos sólidos apresenta vantagens como, por exemplo, a redução de custos de monitoramento, o controle, o tratamento, o gerenciamento e a disposição, a redução do consumo de matérias-primas, a redução de riscos à saúde e segurança dos funcionários expostos a resíduos perigosos, a redução dos riscos ambientais que resultam na maior probabilidade de obtenção licenças e financiamentos por estar de acordo com a legislação, além de melhorar a imagem pública da empresa, tornando-a mais rentável e eficiente.

Com base nisso, as empresas estão sendo impulsionadas a buscar novas formas de disposição e, até mesmo, aproveitar os resíduos gerados. Agregar valor ao resíduo, que proporcione a produção de um produto comercial é vantajoso, pois diminui possíveis gastos com a sua disposição e implica no ganho econômico em consequência da sua comercialização.

No Sistema de Gestão Ambiental (SGA), baseado na NBR ISO 14.001:2004 (ABNT, 2004e), existem ferramentas de gestão para a melhoria do sistema, buscando atender aos requisitos legais e atrelar a melhoria ambiental com retorno econômico para a empresa. Além disso, a utilização de modelos matemáticos que permitam a análise dos diferentes resíduos gerados e proponham uma priorização dos rejeitos é interessante para o gerenciamento, além de ser uma ferramenta útil para apoio às empresas na tomada de decisão quanto a ações de minimização e reaproveitamento de resíduos.

Uma opção de ferramenta para avaliação do desempenho ambiental da empresa e priorização de resíduos seria o modelo matemático elaborado por Maceno (2018). Este modelo facilita a acessibilidade pelas empresas a técnicas de minimização de resíduos a partir da análise do balanço material, do balanço energético, dos custos e da avaliação do ciclo de vida (ACV).

A proposta desta pesquisa foi realizar o aproveitamento dos resíduos da indústria de MDF (cinzas, lodo físico-químico e areia), dos resíduos da indústria de celulose (*dregs*, *grits* e lama de cal) e dos resíduos da produção de cal, para gerar um novo compósito para a construção civil com características de concreto. E,

posteriormente realizar a valoração dos resíduos de MDF e dos compósitos gerados por meio de um modelo matemático (EPIP – *analytical tool for Environmental Performance in Industrial Processes*).

O Brasil destaca-se no cenário mundial por possuir extensas áreas florestais nativas com possibilidade de manejo adequado além de ocupar a posição de segundo maior produtor de celulose no cenário mundial (IBA, 2018).

A quantidade de resíduos gerados por tonelada nas indústrias de painéis e de celulose, o rigor da legislação, constantemente atualizada, e os processos de licenciamento ambiental, bem como, o potencial de aproveitamento desses materiais, estão associados à possibilidade de incorporá-los como matéria-prima em compósitos destinados à construção civil (MARTINS, 2006; BRASIL, 2010).

A comprovação da viabilidade técnica da utilização desses resíduos pode representar uma alternativa para o aumento da vida útil dos aterros industriais e, também, a geração de material semelhante ao concreto, para a produção de componentes de construção como por exemplo, blocos estruturais ou de vedação, que não utilizam tratamento térmico na produção e cura, além, de poupar recursos naturais para tal (GEMELLI et al., 2001; LOUZADA et al., 2009).

Além da questão relativa à minimização dos resíduos, cabe destacar que houve a proibição da queima do lodo de estações de tratamento físico-químico de efluentes em caldeiras, especificada pelo Artigo 3º da Resolução SEMA 42, de 22 de julho de 2008 (IAP, 2008). No Paraná não é permitida a incineração de resíduos, sendo praticado o coprocessamento em fornos de cimento. A vantagem está na destruição da sua periculosidade, entretanto, a desvantagem está no custo, principalmente para o lodo, devido ao grande volume gerado (PNUMA, 2012).

Sendo assim, esta pesquisa visou apresentar uma forma de aproveitamento dos resíduos industriais evitando a sua disposição inadequada, além de apresentar a valoração dos resíduos e dos novos compósitos gerados.

A utilização de técnicas de gestão ambiental que envolva o aproveitamento de resíduos, que antes eram descartados em aterros, promove sua minimização, cumprimento de normas ambientais, redução de custos para a empresa, além de ganhos para o meio ambiente devido à diminuição de riscos de contaminação pela sua disposição inadequada.

Resíduos de cunho florestal normalmente são estudados e aproveitados separadamente, e essa pesquisa visou verificar se misturados formariam produtos de

construção civil com boas propriedades mecânicas que atendessem as normas brasileiras vigentes. Além disso, as técnicas comumente utilizadas para avaliação de desempenho ambiental não são focadas em processos industriais. Sendo assim, utilizou um modelo com esse diferencial (EPIP) a fim de avaliar os aspectos ambientais do aproveitamento de resíduos de MDF e celulose.

## 1.1 HIPÓTESES

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi estabelecida a seguinte hipótese:

- é possível desenvolver um novo compósito para a construção civil, que atenda as normas brasileiras, utilizando os resíduos da indústria de MDF, de celulose e da cal como matérias-primas.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral desta pesquisa consistiu em caracterizar novos compósitos elaborados a partir do aproveitamento de resíduos de uma indústria de painéis de MDF (cinzas, lodo físico-químico e areia), de uma indústria de celulose (*dregs*, *grits* e lama de cal) e da produção de cal, além da realização da valoração dos resíduos de MDF e dos compósitos com maiores resistências utilizando uma ferramenta analítica de avaliação do desempenho ambiental do processo industrial.

### 1.2.2 *Objetivos específicos*

Para atingir o objetivo geral, os objetivos específicos propostos foram:

- a) caracterizar (física, morfológica e quimicamente) os resíduos produzidos durante o processo produtivo de uma indústria de painéis de MDF, de celulose e de produção de cal;
- b) estudar combinações dos resíduos de uma indústria de painéis de MDF (cinzas, lodo físico-químico e areia), com resíduos de uma indústria de celulose (*dregs*, *grits* e lama de cal) e resíduos da produção de cal (RPC), para formação de um compósito de construção civil, que atenda

as normas brasileiras NBR 7.710 (ABNT, 1983) e NBR 6.136 (ABNT, 2006);

- c) determinar a formação de estruturas morfológicas e a interação físico-química entre os componentes utilizados nos compósitos desenvolvidos;
- d) realizar a valoração dos resíduos de MDF e dos compósitos gerados por meio da utilização de uma ferramenta analítica denominada EPIP (*analytical tool for Environmental Performance in Industrial Processes*) a fim de avaliar o desempenho ambiental dos aspectos ambientais relacionados aos resíduos em estudo.

### 1.3 ESTRUTURAÇÃO DA TESE

No primeiro capítulo apresenta-se a introdução ao tema com a apresentação dos objetivos da pesquisa. No segundo capítulo tem-se uma revisão de literatura acerca de técnicas de aproveitamento de resíduos industriais e de modelos matemáticos para a avaliação do desempenho ambiental relacionados aos resíduos industriais. Os materiais e métodos, tanto referente à obtenção de um novo compósito a partir do aproveitamento de resíduos, quanto ao modelo matemático EPIP, encontram-se no terceiro capítulo. No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos por esta pesquisa. As considerações finais e recomendações de trabalhos futuros estão no quinto capítulo. E no sexto capítulo estão as referências utilizadas nesse trabalho.



## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS**

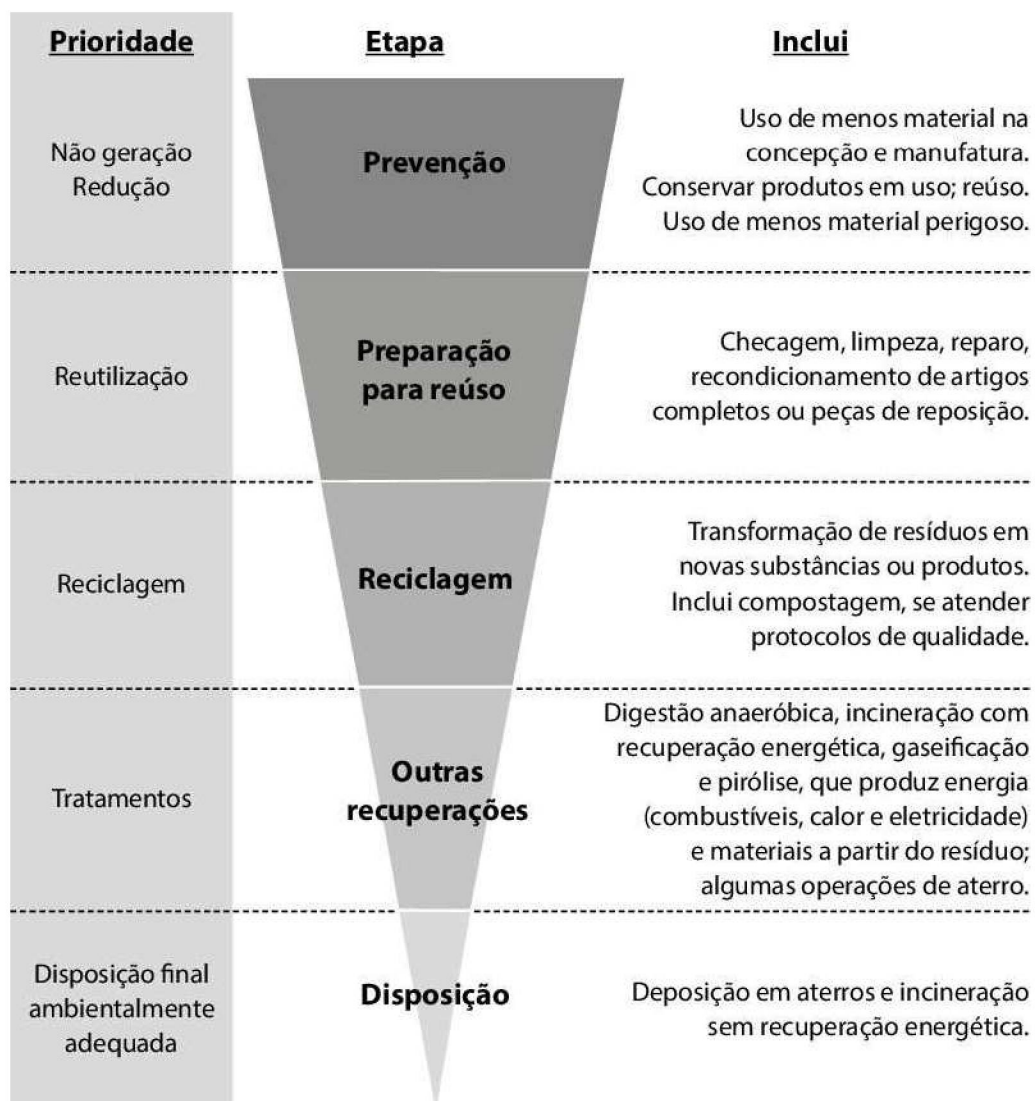
A aprovação da lei que estabeleceu o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em 2010, a logística reversa passou a ser um tema de grande relevância para a indústria. De acordo com o Plano, as empresas passam a ter maior responsabilidade pela destinação dos resíduos gerados após o consumo de seus produtos. Além da obrigação legal, esse conceito deve estar nos planos de negócios das indústrias pelos benefícios econômicos, sociais e ambientais que pode criar (SIQUIRJ, 2019).

A logística reversa é um incentivo para que os produtos industriais, depois de consumidos e descartados, retornem à cadeia produtiva. Esse fluxo logístico é uma das propostas da Economia Circular, que rompe com o conceito linear de extrair, produzir, consumir e descartar (SIQUIRJ, 2019).

Melhorias no desempenho ambiental de uma indústria trazem também benefícios econômicos aumentando a produtividade, reduzindo a quantidade de insumos, reduzindo o desperdício e aumentando a reciclagem de materiais. A aplicação dos conceitos de redução, reutilização e reciclagem podem resultar em economia financeira real para qualquer organização. A redução de resíduos e do consumo de energia proporciona benefícios de ordem financeira na indústria, uma vez que, segundo Gilbert (1995), a coleta e a destinação final dos resíduos são operações muito onerosas. Quanto menos resíduos as empresas tiverem a remover, menores serão os custos envolvidos.

A reciclagem de materiais para o aproveitamento, a reutilização ou simplesmente utilização, podem representar uma alternativa efetiva de redução de custo no que se refere ao tratamento e à disposição de resíduos. Entretanto, deve ser enfatizado que a não geração/prevenção e a minimização do resíduo na fonte são as opções preferenciais em relação ao gerenciamento de resíduos, como visto na hierarquia proposta pela União Européia conforme a FIGURA 1.

FIGURA 1 – HIERARQUIA DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS APROVADA PELA UNIÃO EUROPEIA



FONTE: PALERMO (2017)

De acordo com Pawlowsky (2010) a prevenção à poluição refere-se a qualquer prática, processo, técnica e tecnologia que visem à redução ou eliminação em volume, concentração e toxicidade dos poluentes na fonte geradora. Inclui também modificações nos equipamentos, processos ou procedimentos, reformulação ou replanejamento de produtos, substituição de matérias-primas, melhorias nos gerenciamentos administrativos e técnicos da empresa e otimização da utilização das matérias-primas, energia, água e outros recursos naturais. Para implementar um Programa de Prevenção à poluição em uma empresa sugere-se que sejam tomadas as seguintes ações:

- comprometimento da direção da empresa;

- definição da equipe do Programa;
- elaboração de uma Declaração de Intenções;
- estabelecimento de objetivos e metas;
- elaboração de um cronograma de atividades;
- disseminação das informações sobre o Programa;
- levantamento de dados;
- definição de indicadores de desempenho;
- identificação de oportunidades do Programa;
- seleção de oportunidades do Programa;
- levantamento de tecnologias;
- avaliação econômica;
- implantação das medidas do Programa;
- avaliação dos resultados do Programa e
- manutenção do Programa.

#### *2.1.1 Minimização de resíduos*

A minimização de resíduos envolve qualquer técnica, processo ou atividade que serve para evitar, eliminar, ou reduzir o resíduo na fonte, usualmente dentro da unidade produtiva, ou permitir o reuso ou reciclagem do resíduo para um propósito útil (PAWLOWSKY, 2010).

A minimização de resíduos foi definida pela Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (*Environmental Protection Agency – EPA*) como “toda ação tomada para reduzir a quantidade e/ou toxicidade dos resíduos que requerem disposição final” (EPA, 1988). Por outro lado, para a United Nations Environmental Programme (UNEP, 2006), minimizar resíduos é o resultado da combinação da conservação de matérias-primas, água e energia, as da eliminação de materiais tóxicos e perigosos e da redução da concentração e/ou toxicidade das emissões, sejam líquidas, sólidas ou atmosféricas do processo produtivo.

Entre as formas de minimização de resíduos podem ser citadas a melhoria nas práticas operacionais, manutenções preventivas nas áreas produtivas e de armazenamento, a mudança de processo ou tecnologia, o reuso, a reciclagem interna ao processo e a substituição de matéria-prima ou de equipamentos (PAWLOWSKY, 2010). Estas são apresentadas no QUADRO 1.

QUADRO 1 – FORMAS DE MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS

<b>Formas de Minimização</b>	<b>Característica</b>
<b>Melhorias nas práticas operacionais</b>	consistem na padronização dos parâmetros operacionais (temperatura, vazão, volume, tempo, etc.) e dos procedimentos para execução de uma tarefa, aliados a uma sistemática que garanta a efetividade na execução das operações industriais.
<b>Manutenções preventivas nas áreas produtivas e de armazenamento</b>	consistem no estabelecimento de um programa de manutenção periódica nas áreas produtivas e de armazenamento, com o intuito de se antecipar aos problemas, de modo a evitar incidentes que venham a ocasionar, por exemplo: a interrupção na produção, perda de material, contaminação devido a vazamento, etc.
<b>Mudança e aperfeiçoamento do processo ou da tecnologia</b>	é a substituição de um processo/tecnologia por outra menos poluidora, ou seja, adoção de uma tecnologia limpa. No aperfeiçoamento pode ser a melhoria da eficiência do tratamento do efluente.
<b>Substituição interna de matérias-primas ou de equipamentos</b>	é uma técnica que visa substituir uma substância tóxica utilizada como matéria-prima em um processo industrial, por outra menos tóxica e que produza os mesmos efeitos desejados no produto final, sem prejuízo da sua qualidade. Já a respeito dos equipamentos sua substituição consiste na troca por outro menos poluidor, mais eficiente, mais econômico, ou ainda, realizar alguma alteração nesse equipamento, que possa vir a conferir melhorias desejadas.
<b>Reciclagem interna ao processo</b>	é qualquer técnica ou tecnologia que permita a utilização de um resíduo como um substituto eficiente para um produto comercial ou como matéria-prima em um processo industrial. Também se refere à recuperação de frações constituintes úteis dentro de um material refugado ou remoção de contaminantes de um resíduo de forma a permitir sua reutilização.
<b>Reúso</b>	qualquer prática ou técnica que permita a reutilização de um resíduo, sem que ele seja submetido a um tratamento prévio.

FONTE: Adaptado de PAWLOWSKY (2010)

Um Programa de Minimização de Resíduos – PMR pode ser viabilizado com o objetivo de encontrar um ponto ótimo de produtividade, economia de energia e

matérias-primas e aproveitamento de resíduos (LEITE e PAWLOWSKY, 2002). Para que a implantação de um PMR seja bem sucedida algumas etapas devem ser observadas. Entre elas está a priorização de resíduos, a qual pode ser auxiliada por modelos matemáticos, os quais auxiliam na tomada de decisão de um processo complicado, envolvendo vários critérios de decisão, alguns quantificáveis e outros dificilmente quantificáveis. Além disso, direcionam a pesquisa de acordo com a necessidade, dando foco e agilidade na busca pelos resultados.

### *2.1.2 Aproveitamento de resíduos industriais*

O aproveitamento ou a reciclagem de resíduos sólidos tem como objetivo a utilização completa de matérias-primas e a minimização do problema da poluição e do tratamento dos despejos (PAWLOWSKY, 2010). O aproveitamento de materiais do lixo municipal, por exemplo, não tem sido suficiente, pois a cada ano, milhares de toneladas de materiais potencialmente recicláveis têm sido enviadas para a incineração ou simplesmente dispostas em “lixões”, ou na melhor hipótese em aterros sanitários (PERAZZO et al., 2011).

A reutilização baseia-se no aproveitamento do material nas condições em que é descartado, sendo submetido a pouco ou nenhum tratamento, exigindo apenas pequenas operações. A reciclagem de resíduos sólidos se caracteriza pela técnica de refazer o ciclo, isto é, trazer os resíduos de volta ao sistema produtivo sob a forma de matéria-prima (WIEMES, 2003).

O aproveitamento de resíduos industriais em geral para confecção de produtos para a construção civil tem sido estudado por muitos pesquisadores, no Brasil e no mundo. Dentre os novos materiais produzidos, com inserção total ou parcial de resíduos, e as possíveis utilizações estão: fabricação do cimento, agregados leves, tijolos cerâmicos, agregados ao concreto e argamassa, entre outros (PRIM et al, 1998; WIEMES, 2003; MAGALHÃES et al, 2004; OLIVEIRA e HOLANDA, 2004; MYMRIN et al, 2014; WOLFF et al., 2015; MYMRIN et al, 2016; GASPARETO e TEIXEIRA, 2017; MINE, 2019; MYMRIN et al, 2020). Na TABELA 1 são apresentados os resíduos industriais e potenciais usos para a confecção de compósitos para a construção civil, conforme pesquisadores no Brasil e no mundo.

TABELA 1 – APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Indústria/Resíduos	Técnica/Material gerado	Referência
Lodo da indústria têxtil	Solidificação/estabilização com cimento	PRIM et al, 1998
Lodo de ETE e pó de vidro	Cerâmica vermelha	WIEMES, 2003
Lodo galvanico	Cerâmica	MAGALHÃES et al., 2004
Resíduo siderúrgico	Cerâmica vermelha	OLIVEIRA e HOLANDA, 2004
Resíduo galvanico	Cerâmica	BORGIO e MYMRINE, 2007.
Lodo físico químico e cinzas da Indústria de painéis de MDF com resíduo da produção de cal (RPC)	Compósito com característica de Concreto	MYMRIN et al, 2014
Lodo de ETA	Cerâmica estrutural	WOLFF et al., 2015
Lodo de tinta	Compósito com característica de Concreto	MYMRIN et al., 2016
Resíduos da produção de celulose e cal	Compósito com característica de Concreto	MYMRINE et al., 2016
Resíduo de Construção e Demolição (RCD)	Tijolos Cerâmicos	GASPARETO e TEIXEIRA, 2017
Resíduos da produção de celulose, concreto e cal	Compósito com característica de Concreto	PEDROSO et al., 2017
Lodo de Estação de tratamento de água (ETA) e resíduos de fundição	Cerâmica	MINE, 2019
Resíduos perigosos de extração de amianto serpentino, mistura argila-areia e resíduos de vidro	Cerâmica	MYMRIN, 2020

FONTE: A autora (2020)

#### 2.1.2.1 Características desejadas de blocos e tijolos para a construção civil

O concreto é o material mais amplamente empregado em construção, normalmente produzido com a mistura de cimento Portland com areia, pedra e água. Este composto consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante, dentro do qual estão mergulhados partículas ou fragmentos de agregados graúdos, agregados miúdos ou escória de alto forno (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Segundo Neville (1997), a maioria das características desejáveis de materiais de concreto está relacionada com a resistência. A resistência à compressão está diretamente relacionada à sua estrutura interna e com estes valores pode-se verificar

a durabilidade do material de acordo com o respectivo desempenho mecânico apresentado (CORRÊA, 2005).

Silva (1992) destaca a importância da relação água/concreto, pois a maioria dos defeitos relacionados à resistência do concreto é decorrente do excesso de água presente. Segundo Lima (1999), concretos com reciclado apresentam, em geral, resistência a compressão menor ou igual à dos concretos convencionais para consumos de cimento médios ou altos. Para baixos consumos, podem apresentar resistência maior que os convencionais. A diferença entre a resistência à compressão de concretos com reciclado e convencionais varia com o tipo de reciclado, sua quantidade e com o consumo de cimento (SILVA, 1992).

Com relação a legislação, em específico para materiais com características de concreto, tem-se a norma brasileira NBR 7.170 (ABNT, 1983) para tijolos maciços e NBR 6.136 (ABNT, 2006) para blocos de concreto para vedação.

A NBR 7.170 (ABNT, 1983) classifica os tijolos maciços em três classes segundo valores de resistência à compressão: Classe A > 1,5 MPa; Classe B > 2,5 MPa e; Classe C > 4,0 MPa. Outra possibilidade de comparação é com a NBR 6.136 (ABNT, 2006) que regulamenta os critérios mínimos de utilização de blocos de concreto para vedação. A norma apresenta 4 classes de resistência: Classe A  $\geq$  2,0 MPa, Classe B  $\geq$  3,0 MPa, Classe C  $\geq$  4,0 MPa e classe D  $\geq$  6,0 MPa.

A classificação do concreto estrutural segundo a norma NBR 8953 (ABNT, 2015) quanto à resistência à compressão aos 28 dias é: concreto de baixa resistência: menor que 20 MPa; concreto de resistência moderada: de 20 a 40 MPa; concreto de alta resistência: superior a 40 MPa. Quanto à composição química, sabe-se que os constituintes  $C_3S$  - alita ( $3CaO.SiO_2$  – silicato tri-cálcio) e a  $C_2S$  - belita ( $2CaO.SiO_2$  – silicato di-cálcio) são os mais diretamente responsáveis pelo crescimento da resistência (SILVA, 2014).

#### 2.1.2.2 Análises laboratoriais realizadas nas matérias-primas e nos novos compósitos

As principais análises realizadas com os resíduos e os materiais desenvolvidos são:

- Teor de umidade
- Composição granulométrica
- Composição química por raios X – Fluorescência (FRX)
- Composição mineralógica por raios X – Difração (DRX)
- Perda ao fogo
- Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e Micro-análise química (EDS) com Mapeamento de elementos químicos
- Análises térmicas diferencial (ATD) e gravimétrica (ATG)
- Dilatação linear
- Densidade aparente e Porosidade aparente
- Resistência à compressão uniaxial
- Resistência à água e absorção de água
- Análises de permeabilidade (NBR 10.786)
- Ensaios de lixiviação (NBR 10.005) e de solubilização (NBR 10.006)

#### 2.1.2.2.1 Teor de umidade

O teor de umidade é interessante de ser analisado visto que indica a quantidade de água presente nos materiais. A NBR 16.097 (ABNT, 2012) apresenta o método para análise.

#### 2.1.2.2.2 Composição Granulométrica

O ensaio de análise granulométrica do agregado está normatizado pela norma NBR 7.211 (ABNT, 2009a), a qual classifica os agregados por meio de uma distribuição granulométrica obtida no processo de peneiramento da amostra.

Segundo Petrucci (1993), a influência dos agregados miúdos na resistência é devida a granulometria, sendo que o agregado graúdo influencia em função de sua forma e textura do grão. No caso dos agregados miúdos, quanto mais finos, mais superfícies específicas terão, exigindo assim, uma maior quantidade de água para molhar os grãos e, conseqüentemente, diminuindo a resistência.



#### 2.1.2.2.3 Composição química por raios X – Fluorescência (FRX)

No contexto das novas técnicas analíticas instrumentais, a espectrometria de fluorescência de Raios X ocupa um lugar de destaque, especialmente pela obtenção rápida do perfil de constituintes metálicos e não-metálicos. A análise de FRX possui características diferenciadas, como: (i) determinar multi elementos simultâneos (de sódio até urânio); (ii) flexibilidade para análise qualitativa e quantitativa; (iii) operação com amostras sólidas e líquidas; (iv) não apresenta caráter destrutivo; e (v) não se detém à forma química em que as espécies de interesse se encontram (NAGATA; BUENO; PERALTA-ZAMORA, 2001). Segundo estes autores, a FRX pode ser classificada como uma técnica de emissão atômica, fundamentada no efeito fotoelétrico. Como este processo envolve níveis de energia que são característicos de cada elemento, a radiação emitida para cada transição é também característica. Desta maneira, a energia da radiação emitida pode ser diretamente utilizada na identificação da espécie em questão.

Por outro lado, como a intensidade da radiação emitida é diretamente proporcional à concentração da espécie, a técnica também fornece informações que podem ser utilizadas para fins quantitativos. Quando se pretende analisar uma amostra totalmente desconhecida, a técnica de FRX também é vantajosa, principalmente em função da agilidade na obtenção de dados qualitativos dos constituintes da amostra

#### 2.1.2.2.4 Composição mineralógica por raios X – Difração (DRX)

Emprega-se a difração de raios X (DRX) com a finalidade de identificar as fases cristalinas do material em questão, pois esta análise oferece um modo conveniente para determinar a análise mineralógica dos sólidos cristalinos.

Se um mineral é exposto a raios X de um comprimento de onda específico, as camadas de átomos difratam os raios e produzem um padrão de picos que é característico do mineral. A escala horizontal (ângulo de difração) de um padrão de DRX típico fornece o espaçamento do arranjo cristalino, e a escala vertical (altura do pico) fornece a intensidade do raio difratado.

Quando a amostra bombardeada com raios X tem mais de um mineral, a intensidade de picos característicos dos minerais individuais é proporcional às suas quantidades.

#### 2.1.2.2.5 Perda ao fogo

A análise de perda ao fogo é importante na área de civil por indicar a presença de voláteis correspondentes à concentração de orgânicos e à decomposição de inorgânicos como carbonatos e sulfatos em temperaturas elevadas. A presença dessas substâncias pode comprometer as propriedades mecânicas como resistência à compressão e à flexão, porosidade e absorção de água exigidas do material desenvolvido (MYMRIN et al. 2017).

Ribeiro (2010) evidenciou que com o aumento na proporção de resíduos com elevada perda ao fogo houve um decaimento significativo da resistência mecânica do material formado

#### 2.1.2.2.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV), Micro-análise química (EDS) e Mapeamento de elementos químicos

Segundo Picon et al (2006), a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) possibilita a observação e o registro de imagens tridimensionais detalhadas. Nesta técnica, um feixe de elétrons atravessa uma coluna de vácuo e incide, de forma oblíqua, na superfície da amostra. A superfície é então estudada de forma rasteira repetidamente, liberando elétrons secundários. A profundidade com que o elétron penetra a superfície promove emissões secundárias que é função da voltagem de aceleração e da densidade da amostra. O sistema de EDS (Energy Dispersive System) pode ser incorporado ao MEV com o objetivo de determinar a composição química qualitativa e semiquantitativa das amostras, por meio da emissão de raios X (DUARTE et al., 2003).

Para o mapeamento elementar usa-se do estudo de densidade e distribuição dos diferentes elementos em fase ou região, ou mesmo, no modo de deslocamento linear para determinar a variação da concentração de um ou mais elementos (RAMACHANDRAN, 2001).

Segundo Ramachandran (2001), a Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV - adjunta a Espectroscopia de Energia Dispersiva - EDS - formam a unidade de

microanálise, consideradas como técnicas importantes na investigação da tecnologia do concreto, argamassas e compósitos. Também pode ser estudada a correlação entre microestrutura e durabilidade.

#### 2.1.2.2.7 Análises térmicas diferencial (ATD) e gravimétrica (ATG)

A termogravimetria ou análise térmica gravimétrica (ATG) é a técnica na qual a mudança da massa de uma substância é medida em função da temperatura enquanto é submetida a uma programação controlada. Seus resultados são obtidos a partir de gráficos nos quais a ordenada representa a porcentagem em massa e a abscissa sinaliza a temperatura.

A análise térmica diferencial (ATD) é a técnica que, enquanto a substância e o material de referência são submetidos a uma programação controlada de temperatura, analisa a diferença de temperatura entre a substância e o material de referência medida em função da temperatura. Esta técnica pode ser descrita tomando como modelo a análise de um programa de aquecimento. Ao longo do programa de aquecimento as temperaturas da amostra e da referência se mantêm iguais até que ocorra alguma alteração química ou física na amostra. Se a reação for endotérmica, a amostra irá absorver calor, ficando por um curto período de tempo, com uma temperatura menor que a referência. Do mesmo modo, se a reação for exotérmica a temperatura da amostra será temporariamente maior que a temperatura de referência.

Alterações na amostra, tais como: fusão, solidificação e cristalização, são então sinalizadas sob a forma de picos. A curva ATD é mostrada tendo o tempo ou a temperatura na abscissa e a variação de temperatura na ordenada. Esta curva representa a derivada da TG. O objetivo principal da utilização da ATD é detectar a temperatura inicial dos processos térmicos e caracterizá-los como endotérmico e exotérmico, reversível ou irreversível, dentre outras.

Por fim conclui-se que as análises térmicas diferencial (ATD) e gravimétrica (ATG) são utilizadas com a finalidade de traçar o perfil térmico do processo de queima ao longo do tempo e evidenciar fenômenos como volatilização e decomposição térmica (WOLFF et al. 2015; TANTAWY e MOHAMED, 2017; MYMRIN et al. 2017; KIZINIEVIC et al. 2018).

#### 2.1.2.2.8 Densidade aparente e porosidade aparente

A determinação da densidade aparente é normatizada pela NBR ISO 10.545 (ABNT, 2017) e consiste na relação entre a massa do corpo de prova seco e o seu volume igualmente seco, e a mesma permanece constante durante a compactação, a única forma de se aumentar a densidade aparente é pela redução do volume (PAULA et al, 1997).

A porosidade aparente também é citada pela NBR ISO 10.545 (ABNT, 2017) e a sua determinação utiliza os valores da massa do corpo de prova seco e úmido. A porosidade aparente expressa a relação percentual entre o volume de poros abertos do CP e o seu volume exterior.

A densidade aparente é uma propriedade importante no processo dos materiais por estar relacionada com os valores de resistência à flexão das peças, absorção de água e retração linear (CAMPRENGHER, 2005). Este parâmetro permite discutir ainda a relação com a porosidade e a absorção de água do material obtido (PAULA et al, 1997).

O aumento da densidade aparente durante a compactação é uma decorrência da deformação plástica dos grânulos que ao se deformarem passam a ocupar os espaços vazios que havia entre eles. Ao se aumentar a densidade aparente, o volume de espaços vazios entre as partículas por unidade de volume da amostra diminui e, com ele, a mobilidade das partículas. Assim sendo, resta um volume cada vez menor para que água adicionada, além de revestir a superfície das partículas e torna-las plásticas, possa se movimentar sobre elas (CASAGRANDE, 2002).

#### 2.1.2.2.9 Dilatação linear e Resistência a compressão uniaxial

A NBR 5.739 (ABNT, 2007) apresenta diretrizes para a análise de dilatação linear, esta análise é interessante de ser verificada visto que está diretamente relacionada a resistência do material e se ele irá suportar determinadas pressões.

A análise de resistência à compressão uniaxial pode ser definida como a tensão que ao ser atingida provoca no elemento um estado de limite último, significando, assim, a pressão máxima suportada pelo corpo de prova. A resistência à compressão é uma propriedade de grande importância na engenharia civil, pois traduz de certa forma a qualidade do material, estando diretamente relacionada à sua

estrutura interna. Os valores obtidos nos ensaios de ruptura dos corpos de prova fornecem seu desempenho em termos mecânicos e consequente durabilidade (CORRÊA, 2005).

A NBR 5.739 (ABNT, 2007) apresenta as diretrizes para a análise de resistência à compressão uniaxial.

#### 2.1.2.2.10 Resistência à água e absorção de água

A absorção da água é definida como o ganho em peso, expresso em porcentagem, que a peça apresenta quando introduzidas em água em ebulição durante um período de tempo determinado, segundo Casagrande (2002).

Para Chih-Huang Weng et al. (2003), a absorção de água é um fator chave no efeito da durabilidade do produto cerâmico estrutural. A menor infiltração de água, determina a maior durabilidade e resistência ao ambiente natural ao qual o material é exposto. Assim, a estrutura do material precisa ter uma superfície capaz de evitar a entrada de água.

Para a determinação da absorção de água existe a NBR 9.778 (ABNT, 2005) que apresenta a metodologia de análise.

Após a submersão em água os materiais são analisados quanto a sua resistência à compressão uniaxial como visto anteriormente

#### 2.1.2.2.11 Análise de permeabilidade

A norma NBR 10.786:2013 (ABNT, 2013) apresenta a análise de permeabilidade do concreto endurecido pela percolação de água sob pressão, sua análise permite determinar o coeficiente de permeabilidade. O método utiliza corpos-de-prova cilíndricos de concreto. Estes CPs têm seus topos jateados com jato de areia e suas superfícies laterais recebem uma camada de material de vedação. Este CP é colocado em uma câmara que deve ser preenchida com água destilada e deve garantir uma perfeita vedação. Esta câmara é fechada e submetida a uma pressão de ar, sendo verificada a vazão de entrada do ar de forma contínua. Este é um ensaio realizado em um período de, aproximadamente 500 horas, devendo ocorrer de forma ininterrupta.

Resumidamente pode-se afirmar que a porosidade do concreto refere-se a quantidade total de vazios existentes na peça; a absorção é função dos poros que possuem comunicação com as faces externas do concreto, enquanto que a permeabilidade indica a continuidade entre os vazios (MAGALHÃES, 2019).

#### 2.1.2.2.12 Ensaios de lixiviação e solubilização

Originalmente empregados para avaliar e classificar os resíduos sólidos, os ensaios de lixiviação e solubilização são ferramentas muito úteis na avaliação da periculosidade de resíduos sólidos e de suas formas residuais finais quando dispostos em aterros (OLIVEIRA, 2002).

De acordo com SILVA (2018), os ensaios de lixiviação e solubilização determinam se houve a estabilização por solidificação, pois, caso estabilizados, haverá a presença de mecanismos que inibem a dispersão dos contaminantes, modificação da solubilidade pelo controle do pH, formação de combinações químicas insolúveis e o encapsulamento dos contaminantes.

Logo, para assegurar que houve a imobilização de determinados contaminantes nos compósitos é interessante que se realize os ensaios de lixiviação e de solubilização (VICTORIA, 2013; MYMRIN et al. 2017; KIZINIEVIC et al. 2018). Para tal, os ensaios devem seguir as normas NBR 10.005:2004b e NBR 10.006:2004c que apresentam os procedimentos para obtenção de extrato lixiviado e solubilizado, respectivamente.

## 2.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL NAS INDÚSTRIAS

### 2.2.1 *Priorização de resíduos industriais*

Segundo Leite (2003), um trabalho de minimização de resíduos associado à utilização de um modelo matemático tem grande utilidade para aperfeiçoar o gerenciamento de resíduos industriais, pois apresenta uma metodologia completa e detalhada de priorização e minimização. De acordo com Cendofanti (2005), o modelo matemático de priorização de resíduos de Cercal (2000) apresenta-se como uma ferramenta adequada para o levantamento, caracterização e hierarquização dos resíduos, além de se mostrar importante para auxiliar na tomada de decisão para o

gerenciamento de resíduos de uma empresa. Com a implantação de um programa de minimização de resíduos, matérias primas são mais bem aproveitadas e poluentes são gerados em menor quantidade ou até eliminados, enfatizando assim a importância do desenvolvimento da empresa de maneira sustentável.

#### 2.2.1.1 Modelos matemáticos de priorização de resíduos

As indústrias sofrem diversas pressões para melhorar seu desempenho ambiental e o Sistema de Gestão Ambiental (SGA) atua como um organizador das atividades e um minimizador de impactos pela melhoria contínua da empresa (GILBERT, 1995; MACENO, 2018).

Posteriormente surgiram outras ferramentas de gestão para melhoria da robustez deste sistema, buscando não apenas trabalhar com atendimento a requisitos legais, mas com olhar à frente no sentido de melhoria ambiental atrelada a um retorno econômico importante e necessário a empresa (MOREIRA, 2001).

Pela integração do SGA com ferramentas de melhoria e otimização de gestão ambiental, como a Minimização de resíduos (tratado dentro de P+L – produção mais limpa) e ACV (avaliação de ciclo de vida de produtos), sendo esta última para avaliações de melhorias mais criteriosas, profundas e de difícil visualização, é possível otimizar a geração de sobras e possibilitar, além da redução de restos não utilizáveis, a redução de extração de recursos naturais preservados, base da matéria-prima e outras matérias de apoio para os processos industriais (ROBERT et al., 2002).

A implantação de ações de minimização de resíduos, de um modo geral, representa desafios para a empresa por necessitar de um profissional, ou uma equipe, a qual conheça detalhadamente o processo produtivo da empresa e também as diferentes soluções ambientais para melhoria dos indicadores de resíduos ou os caminhos para obter soluções. Isto em geral é bastante custoso, dificultando que empresas, principalmente as de pequeno e médio porte, realizem esse tipo de avaliação (SEIFFERT, 2011).

Dessa forma, a utilização de modelos matemáticos que permitam a análise dos diferentes resíduos gerados e proponham uma priorização de qual dos resíduos é interessante trabalhar pode apresentar-se como uma ferramenta útil para apoio às empresas e para o corte de etapas de análise de minimização de resíduos, tornando-

se necessário a empresa apresentar a etapa de definição de as ações a serem tomadas sobre os resíduos críticos.

O modelo de CERCAL (2000), com a característica de busca de melhoria de acessibilidade pelas empresas a técnicas de minimização de resíduos por meio da utilização de idéias e cálculos para priorização de resíduos. Outros modelos semelhantes, mas com objetivos e escopo diferente, foram encontrados em algumas pesquisas científicas, tais como os modelos de YAN et al. (2010) e DEIF (2011), que visam a mudança de processo de fabricação, embalagem e produto para materiais verdes (ecologicamente corretos). Já o modelo produzido por MAMOUNE e YASSINE (2011) se utiliza do conceito de ecossistema industrial, o qual busca imitar o ambiente natural e, por meio da modelagem, integra análises de ciclo de vida de produtos e a redução de gastos com questões ambientais, pela da redução do impacto e da geração de restos.

O modelo construído por CERCAL (2000) busca, por meio da análise de resíduos por valor, riscos e facilidade de minimização, obter a sequência de priorização de resíduos a serem trabalhados pela empresa. Apesar disso, o modelo apresenta limitações de aplicação e interpretação de resultados devido à ausência de correlações claras e diretas entre os três parâmetros de análise.

Outro fator a se ressaltar é que embora haja várias ferramentas analíticas disponíveis para avaliar o desempenho ambiental, tais ferramentas não foram criadas com um foco específico na avaliação de processos industriais, o que não auxilia o setor industrial de maneira precisa e eficiente. Por isso, MACENO et al (2018) desenvolveram uma ferramenta de análise do sistema ambiental com mais informações, e com um leque mais amplo de categorias de avaliação e com dados de contabilidade ambiental. Esta nova ferramenta foi nomeada de Desempenho Ambiental industrial ou seu nome em inglês EPIP (*analytical tool for Environmental Performance in Industrial Processes*).

#### 2.2.1.2 Modelo matemático de desempenho ambiental - EPIP

A avaliação do desempenho ambiental é um instrumento de gestão importante nos dias de hoje para as indústrias, pois auxilia na identificação de atividades no processo industrial com os impactos ambientais mais significativos, possibilitando



entender estes impactos e traçar ações em busca de melhoria ao longo do tempo (MACENO et al., 2018).

O modelo matemático EPIP apresenta respostas de desempenho ambiental mais aprofundadas entre a análise econômica e a análise ambiental, avaliando de uma forma mais robusta este desempenho ambiental em relação aos aspectos ambientais do processo industrial em estudo.

Este modelo é mais completo por verificar de maneira mais ampla o desempenho ambiental, levando em consideração custos de energia e de gestão, além de considerar a condição do ambiente e o balanço de energia, e não apenas o balanço material, custos materiais e de destino, impactos ambientais e atendimento a lei como outros modelos existentes, por exemplo o modelo de Cercal (2000).

O modelo EPIP têm como função identificar os aspectos ambientais com pior desempenho e direcionar a tomada de decisões para melhorias ambientais. Foi desenvolvido em cinco etapas, com base em os métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida e IMPACT 2002 b e consiste em uma avaliação econômica e ambiental análise.

O modelo EPIP mensura o desempenho ambiental de processos industriais por meio da análise econômica e ambiental dos aspectos ambientais levantados referentes ao processo em estudo. Esta ferramenta é composta por três variáveis principais, o Custo equivalente do aspecto ambiental ( $C_{AA}$ ), o Custo equivalente Total do aspecto ambiental ( $C_{AAT}$ ) e o Custo equivalente relativo do aspecto ambiental ( $CR\%$ ). A variável principal da EPIP, a  $C_{AA}$ , que mensura o desempenho de cada aspecto ambiental, é composta por oito variáveis, divididas no grupo de análise econômica, que são o Custo de Perda Material ( $CPM$ ), o Custo de Energia Consumida ( $CEC$ ), o Custo Destino Material ( $CDM$ ), o Custo de Gestão Localizada ( $CGL$ ), o Custo de Pesquisa e Desenvolvimento ( $CPD$ ), o Custo de Externalidades ( $CEx$ ), e o grupo de análise ambiental, que são o Impacto ambiental pelo Consumo de Emissão de Materiais ( $ICEM$ ) e o Impacto ambiental por Energia Consumida ( $IEC$ ) (MACENO et al., 2018).

A EPIP foi definida, como forma de equilibrar as variáveis de avaliação ambiental (AICV) e econômica, o produto delas. Assim, na TABELA 2, é apresentado o resumo das equações que compõem este modelo matemático, a EPIP.

TABELA 2 – RESUMO DO EQUACIONAMENTO MATEMÁTICO EIP

Nome	Equações matemáticas
<b>Custo de Perda Material</b>	$CPM(n) = MP_{1xm}(n) \cdot CM_{mx1}(n)$
<b>Custo de Consumo de Energia</b>	$CEC(n) = EG(n) \cdot CE(n) \cdot PE(n) = EG(n) \cdot CE(n) \cdot \frac{M_{OUT}(n)}{M_{IN}(n)}$
<b>Custo de Destino Material</b>	$CDM(n) = M_{OUT}(n) \cdot D_{1xd}^{\%}(n) \cdot CD_{dx1}(n)$
<b>Custo de Gestão Localizada</b>	$CGL(n) = CTGL_{GAA} \cdot \frac{M_{OUT}(n)}{\sum_{n=1}^N M_{OUT}(n)}$
<b>Custo de Pesquisa e Desenvolvimento</b>	$CPD(n) = CPD_{GAA} \cdot \frac{M_{OUT}(n)}{\sum_{n=1}^P M_{OUT}(n)}$
<b>Impacto Ambiental de Consumo e Emissão Material</b>	$ICEM(n) = M_{OUT}(n) \cdot \left[ \frac{PD_{SH} \cdot DSH(n) + PD_{QE} \cdot (DQE(n) + DRG(n)) + PD_{Rec} \cdot DRec(n) + PD_{AqG} \cdot DAqG(n)}{PD_{SH} \cdot DSH(n) + PD_{QE} \cdot (DQE(n) + DRG(n)) + PD_{Rec} \cdot DRec(n) + PD_{AqG} \cdot DAqG(n)} \right]$
<b>Dano a Saúde Humana</b>	$DSH(n) = \left[ P_{TH} \cdot \frac{TH(n)}{N_{TH}} + P_{RI} \cdot \frac{RI(n)}{N_{RI}} + P_{RIn} \cdot \frac{RIn(n)}{N_{RIn}} + P_{ROrg} \cdot \frac{ROrg(n)}{N_{ROrg}} + P_{DO} \cdot \frac{DO(n)}{N_{DO}} + P_{RI} \cdot \frac{RI(n)}{N_{RI}} \right]$
<b>Dano por Resíduo Gerado</b>	$DRG(n) = \left[ P_{RP} \cdot \frac{RP(n)}{N_{RP}} + P_{RNP} \cdot \frac{RNP(n)}{N_{RNP}} + P_{EC} \cdot \frac{EC(n)}{N_{EC}} + P_{RR} \cdot \frac{RR(n)}{N_{RR}} \right]$
<b>Dano pelo Consumo de Recursos</b>	$DRec(n) = \left[ P_{RM} \cdot \frac{RM(n)}{N_{RM}} + P_{RCNR} \cdot \frac{RCNR(n)}{N_{RCNR}} \right]$
<b>Dano pelo Aquecimento Global</b>	$DAqG(n) = PD_{AqG} \cdot \frac{AqG(n)}{N_{AqG}}$
<b>Impacto Ambiental de Energia Consumida</b>	$IEC(n) = EC(n) \cdot PE(n) \cdot PD_{Rec} \left[ \frac{P_{ER} \cdot ER(n) + P_{ENR} \cdot ENR(n)}{N_E} \right]$
<b>Custo do Aspecto Ambiental n</b>	$C_{AA}(n) = \left[ CPM(n) + CEC(n) + CDM(n) \right] \cdot [ICEM(n) + IEC(n)] - CGL(n) - CPD(n) + CEx(n)$
<b>Custo Total dos Aspectos Ambientais</b>	$C_{AA}T = \sum_{n=1}^i C_{AA}(n) + CGG$
<b>Custo Relativo do Aspecto Ambiental n</b>	$CR^{\%}(n) = \frac{C_{AA}(n)}{C_{AA}T - CGG}$

FONTE: MACENO (2015)

#### 2.2.1.2.1 Passos para aplicação do Modelo de desempenho ambiental - EPIP

Segundo MACENO et al. (2018) a aplicação da EPIP segue 6 estágios. Cada estágio é caracterizado da seguinte maneira:

No 1º Estágio ocorrem as etapas ligadas a coleta de informações sobre o processo produtivo, sendo necessário o levantamento do processo, a elaboração do fluxograma do processo e identificação dos aspectos ambientais relativos a matérias-primas, insumos e resíduos no processo produtivo.

O 2º Estágio envolve as etapas de quantificação das matérias prima e insumos consumidos e os resíduos gerados para os aspectos ambientais identificados, a quantificação dos custos unitários de cada material utilizado no processo, levantamento das potências e tempos de utilização das máquinas ao longo do processo produtivo, a quantificação dos destinos de resíduos e os tipos de destinos adotados e o preenchimento das fichas de coleta de dados. Vale ressaltar que os dados quantificados levantados devem considerar um referencial de produção pré definido, tal como um lote produzido, uma unidade de produto produzida ou uma quantidade produzida em um tempo pré-definido como dia, semana, mês ou ano.

O 3º Estágio trata do levantamento dos custos de Gestão, que envolve a quantificação dos custos relacionados a medidas localizadas de gestão, tais como treinamentos, calibração de equipamentos, instalação de dispositivos para redução de erros de produção, dentre outras, custos relacionados a investimentos para alteração do produto, desenvolvimento de novo produto e/ou alteração de processo com maquinários mais eficientes, e também os custos de gestão que abrangem toda a indústria, tais como o custo de implementação de Sistema de Gestão Ambiental e de Certificação do sistema, os custos de Auditoria Ambiental, dentre outros.

O 4º Estágio envolve a identificação das categorias de impactos ambientais pelo consumo e emissão de material e pelo consumo de energia que estão relacionadas ao aspecto ambiental n, seguido da identificação dos compostos e tipos de energia relacionados a este aspecto ambiental para cada categoria de impacto.

O 5º Estágio trata da ponderação dos fatores de categorias de impacto ou categorias de danos ambientais. Nesta etapa, o gestor deve definir se realizará a ponderação pelo método AHP', por meio da análise comparativa entre categorias de impacto ou dano, selecionando se realizará a ponderação entre categorias de impacto

ou danos ambientais, ou se utilizará os fatores de ponderação de danos do método IMPACT 2002+. Recomenda-se utilizar o método AHP para a ponderação, caso o gestor conheça as condições do ambiente de entorno e, conseqüentemente, a divisão de importância entre as categorias.

Por fim, no 6º Estágio, faz-se a análise dos resultados obtidos pela implementação da EPIP, podendo-se utilizar o resultado do CR% como valor para classificação dos aspectos ambientais, do mais crítico para o menos crítico, auxiliando na identificação dos itens de interesse para a tomada de decisão em busca de melhorias ambientais.

Dessa forma, o EPIP consegue quantificar com maior sensibilidade o desempenho ambiental das indústrias a serem estudadas, auxiliando a tomada de decisão pela indicação dos aspectos críticos em desempenho ambiental relacionado aos aspectos ambientais (MACENO et al., 2018). Na FIGURA 2 é apresentado um esquema das diferenças entre o modelo de Cercal (2000) e de Maceno (2015).

FIGURA 2 – DIFERENÇAS ENTRE O MODELO MATEMÁTICO DE CERCAL E DE MACENO (EPIP)



FONTE: Adaptado de MACENO (2015)

## 2.3 INDÚSTRIAS DE CUNHO FLORESTAL NO BRASIL

No Brasil, o setor industrial de base florestal destaca-se pelas extensas áreas ocupadas no país. A área total de árvores plantadas no Brasil totalizou 7,84 milhões de hectares em 2016, crescimento de 0,5% em relação ao ano de 2015, devido exclusivamente ao aumento das áreas com eucalipto. As áreas com pinus e outros gêneros permaneceram inalteradas no período (IBA, 2017).

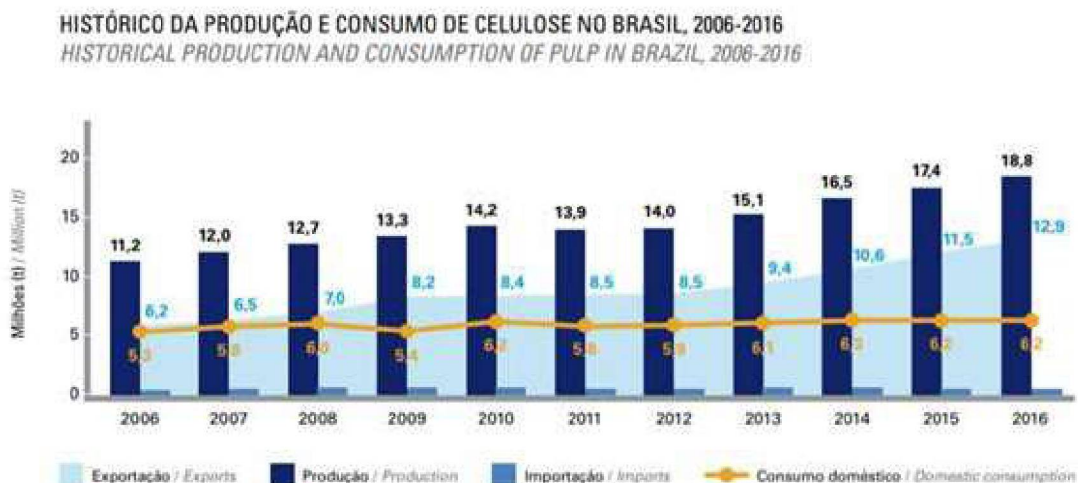
O setor brasileiro de florestas tornou-se, nos últimos anos, um dos mais relevantes no cenário global. Com uma área de 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas, é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais e por 6,2% do PIB industrial, além de ser um dos segmentos com maior potencial de contribuição para a construção da economia verde (IBA, 2017).

Entre os segmentos que utilizam a madeira como principal matéria-prima, podem ser citados o de celulose e papel, o de painéis de madeira, o de pisos laminados, o de serrados e compensados, o de siderurgia a carvão vegetal e o da energia. Por outro lado, no setor de bens de consumo, destacam-se as indústrias gráfica, de embalagem, moveleira, química, têxtil e farmacêutica e a construção civil (IBA, 2016).

Da área total de 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas no Brasil em 2016, 34% pertence às empresas do segmento de celulose e papel. Em segundo lugar, com 29%, encontram-se proprietários independentes e pequenos e médios produtores do programa de fomento florestal, que investem em plantios florestais para comercialização da madeira in natura. Na terceira posição, está o segmento de siderurgia a carvão vegetal, que representa 14% da área plantada (IBA, 2017).

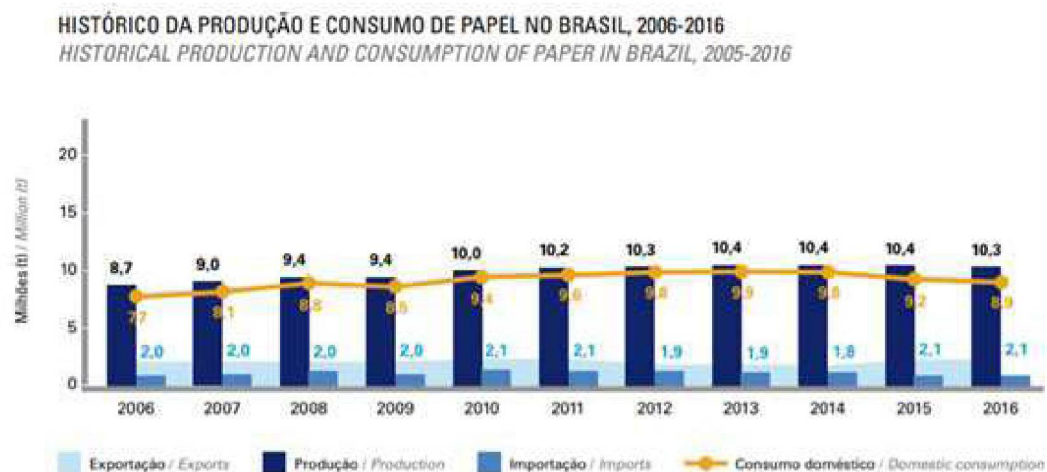
Na FIGURA 3, FIGURA 4 e FIGURA 5 são apresentados os valores referentes a exportação de celulose, papel e painéis de madeira nos anos de 2006 e 2016 (IBA, 2017).

FIGURA 3 – PRODUÇÃO E CONSUMO DE CELULOSE NO BRASIL DE 2006 A 2016



FONTE: IBA (2017)

FIGURA 4 – PRODUÇÃO E CONSUMO DE PAPEL NO BRASIL DE 2006 A 2016



FONTE: IBA (2017)

FIGURA 5 – PRODUÇÃO E CONSUMO DE PAINÉIS NO BRASIL DE 2006 A 2016



FONTE: IBA (2017)

Com relação a produção de resíduos temos que na atividade florestal, 99,7% dos resíduos sólidos (cascos, galhos e folhas) são mantidos no campo como proteção e adubação do solo. Os demais 0,3% entre óleos, graxas e embalagens de agroquímicos, são encaminhados de forma a atender aos critérios legais até a sua destinação final (IBA, 2017).

Na indústria florestal, 66% dos resíduos são destinados para geração de energia, por meio da queima em caldeiras que geram vapor e, eventualmente, energia elétrica para o processo produtivo. Outros 25,5% dos resíduos da produção de serrados (cavacos e serragem) e aparas de papel são reutilizados como matéria-prima por outras empresas do setor. Resíduos como a lama de cal e a cinza de caldeira que representam 5,0% são reutilizados, por exemplo, a produção de cimento e óleo combustível reciclado. Os demais resíduos representam 3,5% e são encaminhados para aterros industriais, atendendo aos critérios legais (IBA, 2017).

### 2.3.1 indústrias de painéis de MDF

Em 2016, a produção brasileira de painéis de madeira reconstituída registrou redução de 2,4% em relação ao anterior e encerrou o ano com 7,3 milhões de m³ produzidos. Parte dessa retração deve-se à diminuição do consumo das famílias, que levou à redução da compra de diversos produtos, incluindo móveis, o principal segmento consumidor de painéis de madeira no Brasil. Porém o segmento brasileiro



de painéis de madeira ocupou o 8º lugar no ranking mundial dos maiores produtores (IBA, 2017).

Segundo a NBR 15.316 – 1 de 2006 (ABNT, 2009b), os painéis de fibra de média densidade, conhecido por MDF (*Medium Density Fiberboard*), são chapas de fibra de madeira com teor de umidade abaixo de 20% e a densidade é maior ou igual a 450 kg/m<sup>3</sup> (BELINI, 2007). Essas chapas são produzidas basicamente sob ação de calor e pressão com a adição de adesivo sintético. De acordo com Mori (2008), até pouco tempo, o bom e desejado móvel era aquele produzido com madeira de lei. Os painéis de madeira reconstituída, produzidos a partir de madeira desfibrada – MDF (*Medium Density Fiberboard*) ou mesmo de resíduos de madeira – OSB (*Oriented Strand Board*) substituíram, em muitos casos, as madeiras de lei. Esses materiais são tão bons ou melhores do que a madeira sólida, pois são móveis e materiais de construção mais estáveis, mais lisos, com o desenho e a textura desejável, bem como na densidade de painel mais apropriada de utilização. O MDF é estável, muito liso e uniforme, trabalha muito pouco, não empena e tem resistência muito boa.

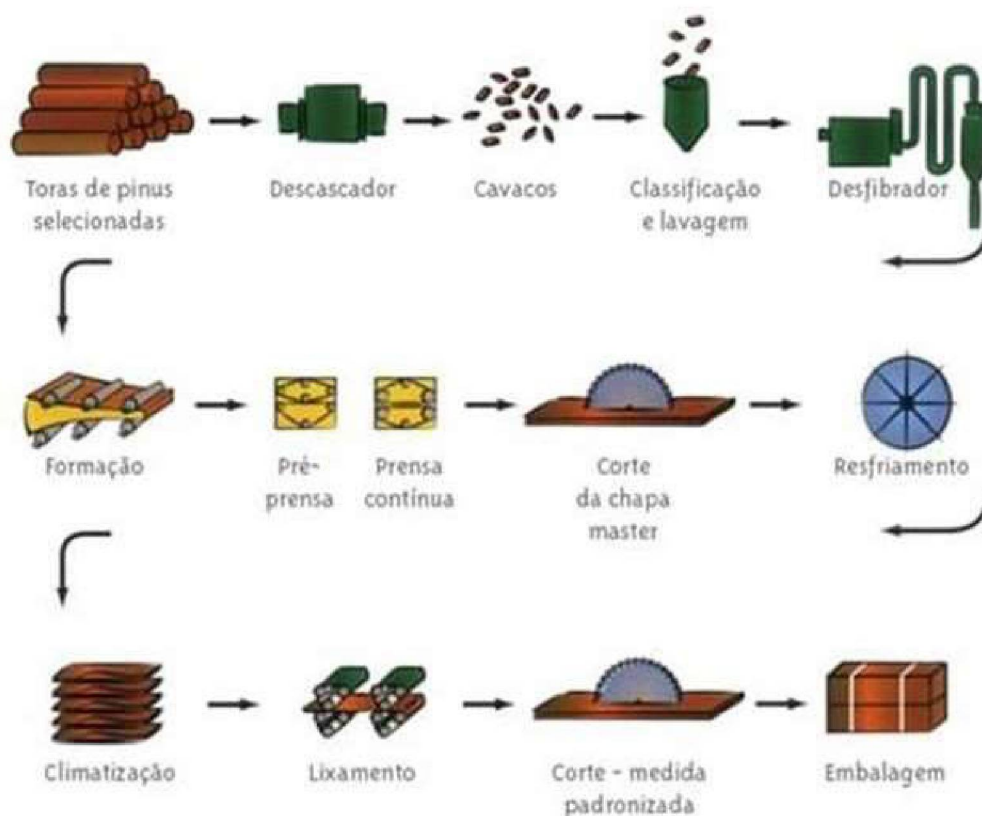
Resumidamente, o processo de fabricação dos painéis de MDF ocorre conforme as etapas descritas a seguir (FIGURA 6):

- a) descascamento: as cascas são retiradas das toras de madeiras;
- b) fragmentação: após o descascamento, as toras passam por uma operação de fragmentação e são gerados cavacos ou partículas, a partir de picadores;
- c) classificação dos cavacos: os cavacos são separados por peneiras. Os maiores são separados, e em seguida, retornam ao picador. Os menores são utilizados como combustível na caldeira;
- d) armazenamento dos cavacos: são armazenados em silos onde, antes do processamento, passam por uma seleção por peneiras, seguidas de lavagem;
- e) tratamento de cavacos: nesta etapa os cavacos são amolecidos para facilitar a operação do desfibrador na formação da polpa, reduzindo seu consumo energético;
- f) desfibramento: nos desfibradores, os cavacos são introduzidos e, por força centrífuga, são lançados para a periferia dos discos;
- g) mistura de resina: adicionada a resina, o catalisador e, em alguns casos, certos aditivos, e mistura-se a matéria-prima;



- h) secagem das fibras: o elevado teor das fibras acarreta uma série de problemas quando a manta é formada e prensada a quente;
- i) entrelaçamento das fibras: colchão a seco formado a partir de uma suspensão das fibras ao ar. A altura do colchão é delimitada por um cilindro dentado a um tubo seccionador de fibra excedente;
- j) seccionamento: o sistema muda conforme o tipo de linha de formação, que é o conjunto de equipamentos cujas operações dão a forma final ao MDF;
- k) prensagem: a injeção do vapor durante a prensagem permite um aquecimento quase instantâneo da manta, resultando numa cura mais eficiente da resina, permitindo a manufatura das chapas de elevadas espessuras;
- l) resfriamento: é efetuado para evitar variações dimensionais da chapa após o aquecimento. Normalmente, são resfriadas à temperatura ambiente, protegidas das intempéries;
- m) corte e lixamento: o corte é realizado procurando estabelecer as medidas dos painéis de MDF, conforme padrões estabelecidos. O lixamento está diretamente relacionado à preparação da superfície das chapas, para acabamentos finais.

FIGURA 6 – PROCESSO PRODUTIVO DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MDF



FONTE: AECWeb (2011)

### 2.3.1.1 Geração de resíduos líquidos e resíduos sólidos

Dentre as etapas descritas, há geração de efluentes em três delas: no descascamento, na preparação e tratamento dos cavacos.

Na etapa de descascamento, as cascas são retiradas das toras em um equipamento chamado descascador, em formato de tambor giratório, onde a casca é removida pela fricção entre as toras e as paredes do tambor. O impacto ocasiona o rompimento das cascas das toras, as quais são desprendidas e arrastadas para fora mediante jatos d'água situados no interior do tambor (WASTOWSKI et al., 2009). Por este motivo, o efluente gerado nesta etapa possui grande quantidade de material particulado (cascas de madeira) e pode apresentar grande quantidade de material orgânico (alta DQO – Demanda Química de Oxigênio).

Antes de entrar no picador, onde são transformadas em cavacos, as toras são lavadas a fim de retirar areia ou terra nelas contidas, visando diminuir o desgaste das facas do picador. Além disso, a madeira úmida é mais facilmente cortada, diminuindo

desta forma o consumo energético e o risco de quebra das facas (WASTOWSKI et al., 2009).

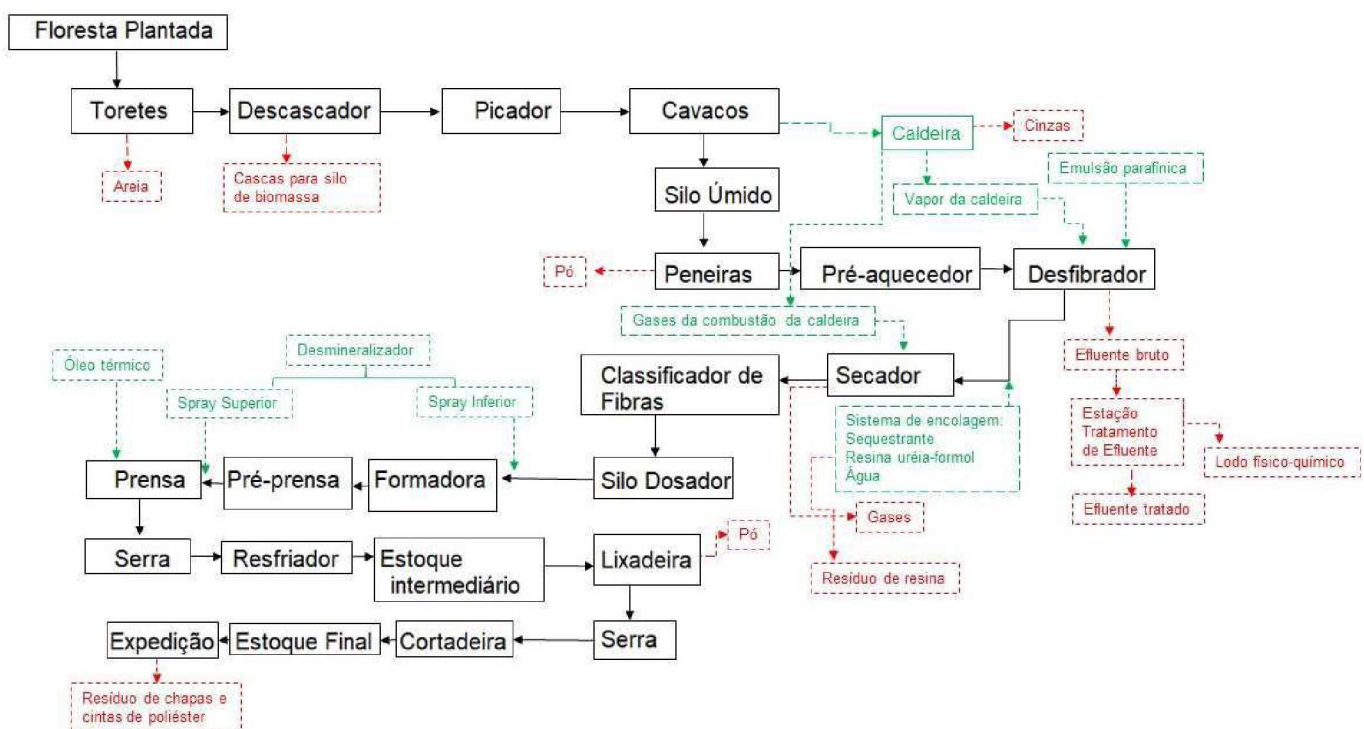
O efluente gerado nesta etapa do processo contém grande quantidade de material particulado (areia, sujeira, pedregulhos, etc.). O tratamento dos cavacos é realizado para facilitar o desfibramento. Nesta etapa, os cavacos são colocados em tanques com agitadores contendo solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH) aquecida. Segundo Torquato (2010), os tratamentos químicos, principalmente a quente, enfraquecem as ligações da lignina entre as fibras celulósicas e, conseqüentemente, as fibras são separadas mais facilmente e com menos danos. Por consequência, este efluente gerado possui pH próximo a 11 e alta carga de compostos orgânicos derivados da quebra da lignina.

Segundo a Huber Technology (2017), águas residuais com alta carga poluidora são geradas em locais diferentes durante o processo de fabricação de painéis de MDF. Estes efluentes apresentam concentrações muito elevadas de sólidos (cerca de 4000 mg/l) e DQO de mais de 15000 mg/l. A Gea Wiegand (2017) completa afirmando que, no processo de produção das fibras, as águas residuais são carregadas organicamente com ingredientes de madeira e produtos orgânicos como ácidos, sacarídeos, aldeídos e terpenos.

É interessante ressaltar que, devido ao fato da composição química das madeiras utilizadas para a produção de painéis de MDF não serem constantes e estarem diretamente ligadas às mudanças na composição do solo, ao clima e a outros fatores externos, definir as características físico-químicas do efluente gerado é de grande dificuldade, pois cada período de processamento gera efluentes com composições distintas.

Na FIGURA 7 são apresentados os resíduos gerados pela indústria de painéis de MDF. Os principais resíduos provêm das etapas de extração da madeira (areia), incineração da biomassa em caldeiras (cinzas da queima da madeira) e do tratamento físico-químico do efluente (lodo físico-químico).

FIGURA 7 – ETAPAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAINÉIS DE MDF E GERAÇÃO DE RESÍDUO

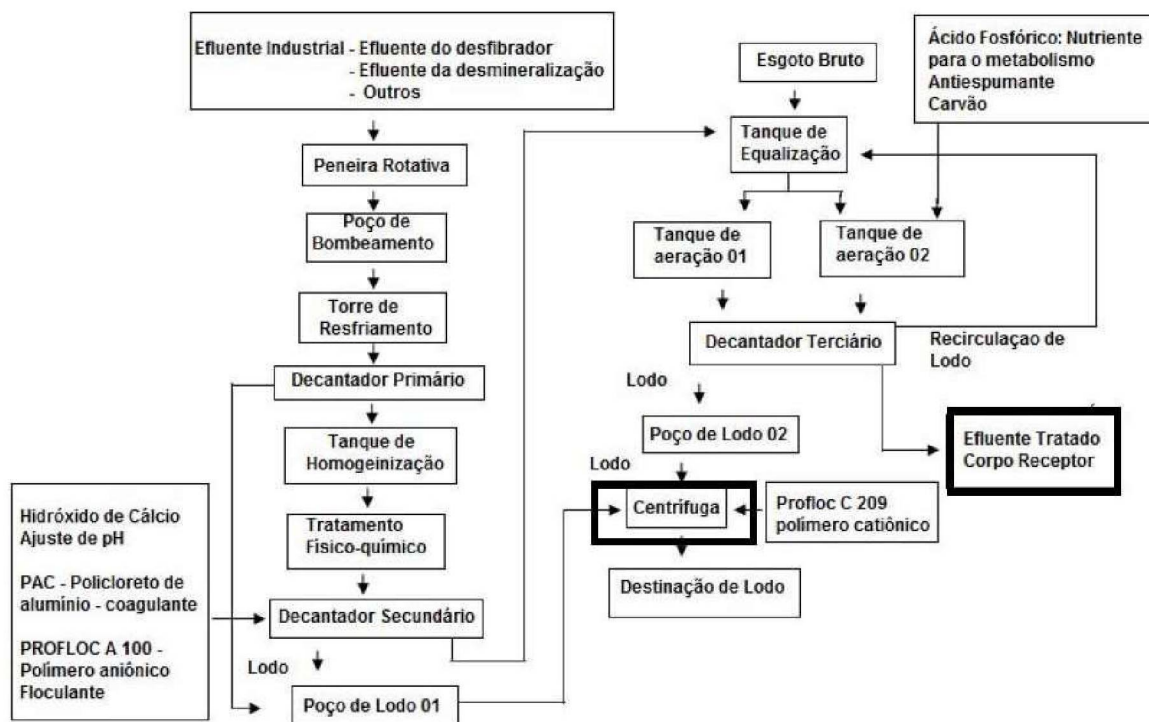


FONTE: Adaptado de RIBEIRO (2017)

Os cavacos menores são queimados na caldeira a fim de gerar energia para a indústria de MDF, porém ao final, nas cinzas, ainda pode haver alguns pedaços de madeira e por isso se realiza a requeima visando o máximo aproveitamento do poder energético do material.

O tratamento dos efluentes da indústria de MDF deste estudo possui as seguintes etapas: resfriamento, homogeneização, tratamento físico-químico, equalização (efluente físico-químico e efluente sanitário), tratamento biológico (lodos ativados), decantação e desidratação de lodo. A FIGURA 8 demonstra o fluxograma da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE).

**FIGURA 8 – TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DOS EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MDF**



**FONTE:** Adaptado de RIBEIRO (2017)

O efluente bruto do processo é enviado para a ETE e primeiramente passa por uma peneira rotativa para retirada dos sólidos maiores. O efluente é bombeado para o poço de bombeamento, em seguida para a torre de resfriamento e então é encaminhado para o Decantador primário. Após decantar, o efluente segue para o tanque de homogeneização (RIBEIRO, 2017).

A respeito do tratamento de efluentes um dos métodos utilizados é o físico-químico, o qual pode ser empregado como um método auxiliar ao tratamento biológico, visto que ele não possui boa eficiência quando empregado isoladamente (VON SPERLING, 2005). Algumas etapas do tratamento físico-químico de coagulação/sedimentação consistem de: correção do pH, coagulação, floculação e flotação ou sedimentação.

O efluente é bombeado para o Decantador secundário, onde ocorre o tratamento físico-químico. São adicionados Hidróxido de Cálcio, para o ajuste do pH, o Policloreto de Alumínio, para a coagulação, e o Polímero Aniônico, para promover a floculação. Após o pré-tratamento o efluente segue para o tanque de equalização, onde ocorre também o lançamento do esgoto sanitário do restante

da indústria (RIBEIRO, 2017). Do tanque de equalização o efluente segue para os tanques de aeração. Nestes tanques ocorre o tratamento biológico pelas bactérias aeróbicas e injeção de ar.

A próxima etapa é constituída do Decantador terciário, que possui um formato cônico, com o objetivo de sedimentar o lodo. Na parte superior fica o efluente tratado e na parte inferior o lodo. O lodo é bombeado para a centrífuga onde o excesso de umidade é retirado. O lodo pode ainda retornar para o tanque de aeração, quando necessário (lodo ativado).

O efluente final sai do tanque de decantação e segue para o poço de recalque e em seguida é lançado no corpo receptor (RIBEIRO, 2017).

### *2.3.2 Indústrias de papel e celulose*

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de celulose e o primeiro quando considerada apenas a celulose de eucalipto (fibra curta). Além disso, 100% do papel produzido no Brasil vem de florestas plantadas. Em 2018 a produção industrial foi de 19,5 milhões de toneladas de celulose e de 10,5 milhões de toneladas de papel (IBA, 2018).

A indústria de papel e celulose consome grandes volumes de água e, conseqüentemente, geradora de quantidades consideráveis de efluentes (MORAIS, 2006; BUZZINI; PIRES, 2007). Na produção de celulose Kraft branqueada de eucalipto são produzidos em torno de 20 a 60 m<sup>3</sup> de efluente por tonelada de celulose (SOUZA et al., 2002).

O volume destes efluentes pode alcançar valores acima de 200.000 m<sup>3</sup>/d e suas características variam dependendo do processo de fabricação utilizado, o que constitui numa grande preocupação ambiental e econômica (RODRIGUES et al., 2016).

O setor de papel e celulose no Brasil apresenta diversas características que geram vantagens competitivas frente aos outros países: condições climáticas favoráveis ao plantio de eucalipto, que permitem um ciclo de plantio e corte de sete anos, alta tecnologia desenvolvida nas atividades de manejo florestal, que possibilitam uma elevada produtividade por hectare e utilização de eucaliptos reflorestados. Essas características contribuíram para que o Brasil

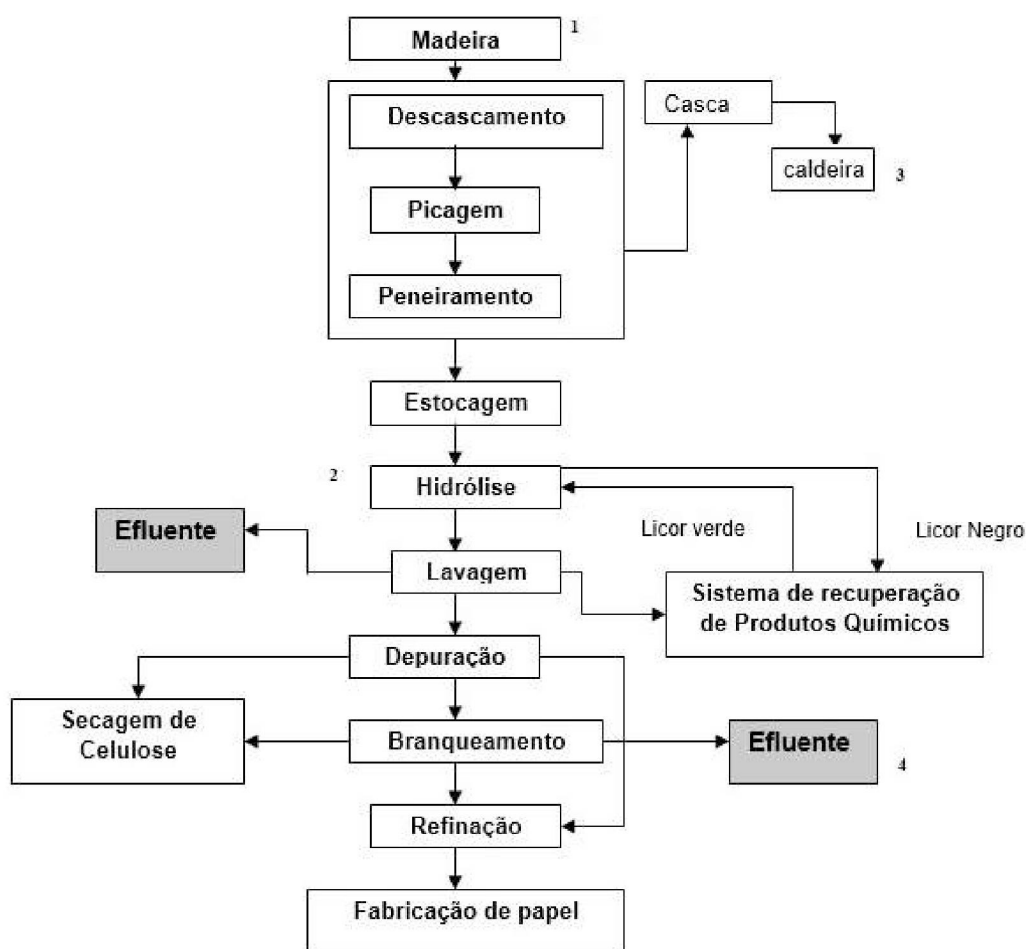
assumisse posição de liderança no ranking mundial de produção de celulose de eucalipto (IGARI et al., 2009).

A produção de celulose consiste na separação das fibras dos demais constituintes do organismo vegetal, em particular da lignina que proporciona rigidez à madeira e proteção a esta quanto à ação microbiana (SAHOO; GUPTA, 2005). Os possíveis processos de polpação são: mecânico, físico, químico e biotecnológico (WU; XIAO; YU, 2005).

De acordo com o processo empregado obtêm-se celuloses com as características necessárias para a fabricação de um determinado produto. O químico, por exemplo, é preferível quando se visa à obtenção de papéis com maior grau de resistência e durabilidade, como os papéis de embalagens (MORAIS, 2006).

Um exemplo de processo químico é o método Kraft, cujas etapas são apresentadas na FIGURA 9. Este emprega, na etapa de hidrólise, sulfeto de sódio e uma solução alcalina sob altas temperaturas (aproximadamente 170°C) a fim de se realizar o desfibramento e a deslignificação da madeira (XAVIER, 2006, RODRIGUES et al., 2016).

FIGURA 9 – ETAPAS DO PROCESSAMENTO DA CELULOSE KRAFT PARA A FABRICAÇÃO DO PAPEL



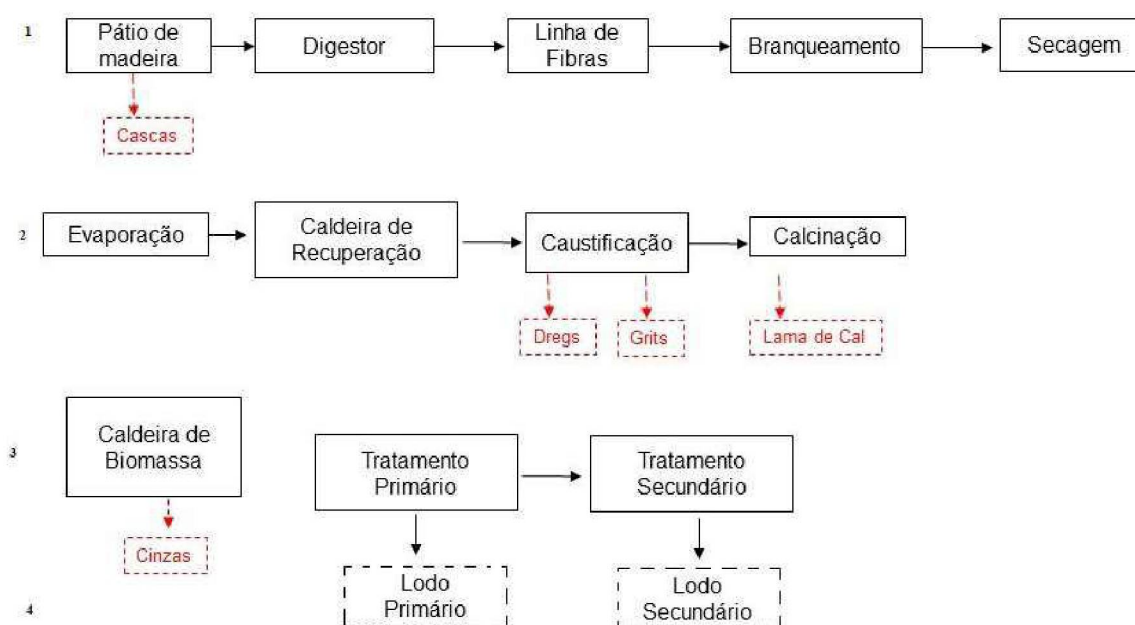
FONTE: Adaptado de MORAIS (2006)

### 2.3.2.1 Resíduos da indústria de papel e celulose

Na FIGURA 10 são apresentadas as etapas de geração dos resíduos do processo de caustificação da indústria de celulose a serem estudados nesta pesquisa. Os resíduos sólidos inorgânicos denominados de *dregs* (clarificador de licor verde), *grits* (apagador de cal) e lama de cal (clarificador de licor branco), são provenientes da etapa de recuperação dos reagentes do processo Kraft (RODRIGUES et al., 2016).



FIGURA 10 – RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE CELULOSE



FONTE: Adaptado de LIMA (2014)

Os *dregs* possuem coloração escura, resultantes da queima incompleta do licor negro na caldeira de recuperação e posterior precipitação, favorecida pelo meio fortemente alcalino, de elementos não processuais, como Al, Mg, Mn, Fe, Co, P, Si e Ca (FOELKEL, 2011). São gerados na proporção de 7 a 15 kg secos/adt polpa (MANSKINEN et al., 2011).

Por sua vez, o *grits* consiste no material insolúvel removido do reator de apagamento (no qual é adicionado CaO para regeneração do NaOH), rico em Ca, Mg, K, Na e Al, além de quantidades significativas de pirssonita [ $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ], um carbonato mineral precipitado (MARTINS et al., 2007). Em relação ao *dregs*, já é um resíduo mais grosseiro, com 70% de suas partículas com dimensões entre 0,425 a 4,76 mm e cerca de 10% de finos (menores que 0,075 mm). Sua densidade real é praticamente a mesma do *dregs*, cerca de 2,66 g/cm<sup>3</sup> (ADAMS, 1997).

A lama de cal é extraída na etapa de clarificação do licor branco. Ela é constituída essencialmente por  $\text{CaCO}_3$ , além de uma fração de componentes inertes, como óxido de magnésio, silicatos e fosfatos (FOELKEL, 2011). Os lodos de cal devem ser processados, separados, lavados e filtrados antes de entrar no calcinador, com o objetivo de recuperar a maior parte do licor branco que

acompanha o lodo, oxidar o  $\text{Na}_2\text{S}$  residual e aumentar seu teor seco. Quando é grande a quantidade de impurezas presentes no lodo ou quando há um excesso de lodo produzido, ele não é enviado para o forno de cal, gerando assim o resíduo (PERA, 2000).

Esses resíduos são dispostos, normalmente, em aterros, apesar de serem comuns estudos que os utilizam como neutralizadores de solos ácidos (CABRAL et al., 2008). Em indústrias que possuem fornos de calcinação, a lama de cal é utilizada como fonte de  $\text{CaO}$ . Entretanto, quando há problemas de manutenção ou operação do forno ou contaminação elevada na lama de cal ocorre acúmulo desse resíduo na indústria, fazendo com que as fábricas passem a ter problemas com o manuseio e armazenamento desse material (FOELKEL, 2011).

## 2.4 INDÚSTRIAS DE CAL NO BRASIL

A calcinação de rochas calcárias, quando aquecidas em fornos a temperaturas superiores a  $725^\circ\text{C}$ , gera a cal virgem. As propriedades químicas do calcário e da qualidade da queima são determinantes para definir a qualidade comercial de uma cal. As cales são constituídas basicamente de óxidos de cálcio ou de uma mistura de óxidos de cálcio e magnésio e podem ser apresentadas sob a forma de pedras ou moídas e ensacadas. Necessita-se de 1,7 – 1,8 t de rocha calcária para a fabricação de uma tonelada de cal virgem. Com uma tonelada de cal virgem obtém-se cerca de 1,3 t de cal hidratada (MME, 2018).

Em 2016, a produção mundial foi de 350 milhões de toneladas. A China permaneceu liderando, com participação de 66%. O Brasil, participando com 2,3% ocupou a 5ª posição no cenário internacional (USGS, 2016). Estimou-se a produção brasileira em 8,3 milhões de toneladas.

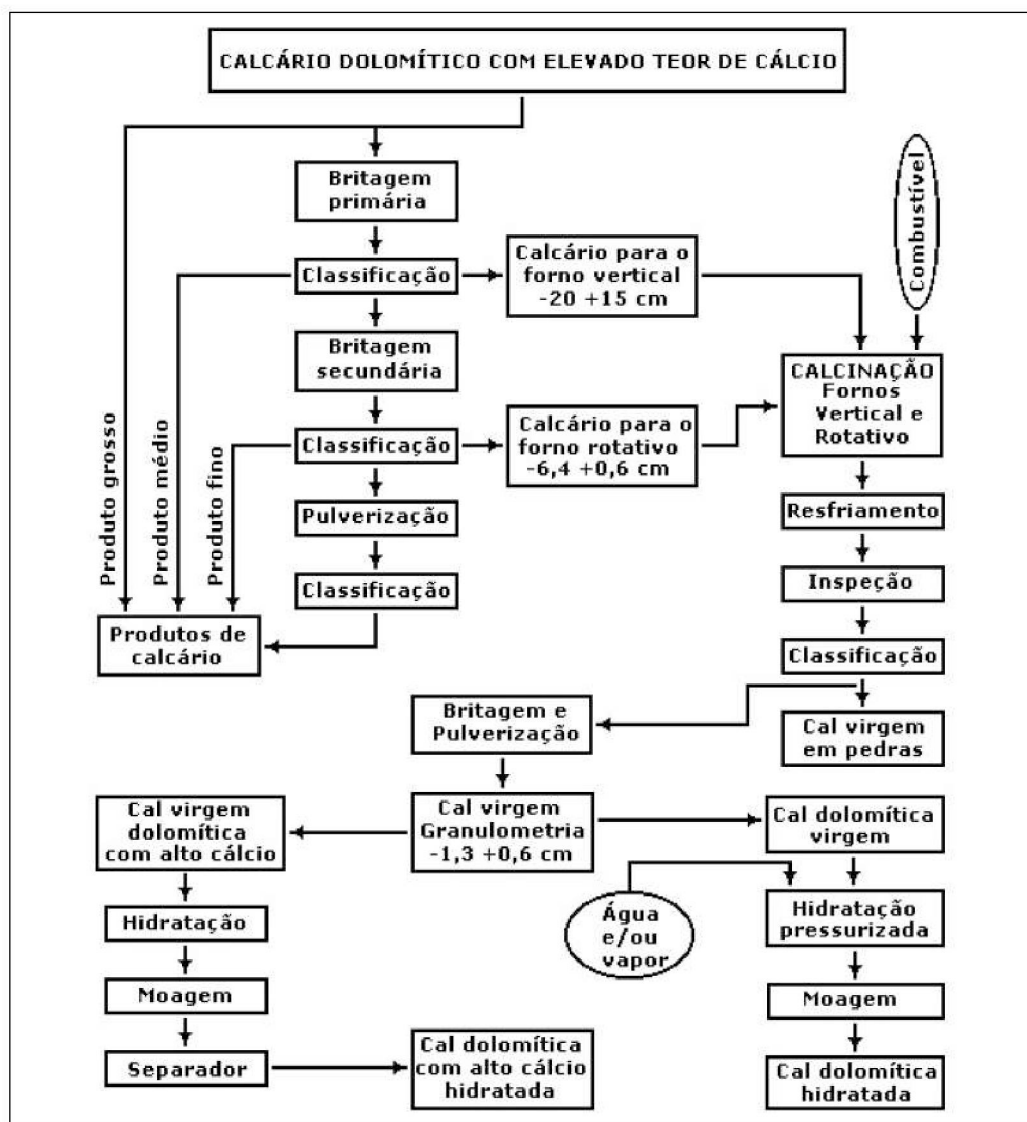
No Brasil, existem mais de 200 produtores de cal, e cerca de 85% da produção brasileira de cal é realizada no Sudeste, onde se concentram os maiores produtores, principalmente em Minas Gerais, vindo logo a seguir São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo (MME, 2018). A Região Sul, que participa com 14% do mercado produtor brasileiro, a grande produção vem do Estado do Paraná, principalmente na região Nordeste do Estado, com destaque para os municípios de Colombo, Almirante Tamandaré, Rio Branco, Castro, Campo Largo e Rio Branco (PEREIRA e FERREIRA, 2009).

A utilização da cal também se dá, nos processos relativos a: tratamento de águas potáveis e industriais; estabilização de solos – como aglomerante e cimentante; obtenção de argamassas de assentamento e revestimento; misturas asfálticas – como neutralizador de acidez e reforçador de propriedades físicas; precipitação do SO<sub>x</sub> dos gases resultantes da queima de combustíveis ricos em enxofre; de corretivo de acidez de pastagens e solos agrícolas; de sinalização de campos esportivos; de proteção às árvores; de desinfetantes de fossas; de proteção à estábulos e galinheiros; e de retenção de água, CO<sub>2</sub> e SO<sub>x</sub> (PEREIRA e FERREIRA, 2009).

A cal é produzida a partir do calcário, que depois de extraído, selecionado e moído, é submetido a elevadas temperaturas em fornos industriais num processo conhecido como calcinação, que dá origem ao CaO (óxido de cálcio ou cal) e libera CO<sub>2</sub> (gás carbônico).

A calcinação perfeita depende da experiência do operador, da temperatura de queima e tecnologia de fornos. A produção de cal é apresentada na FIGURA 11.

FIGURA 11 – ETAPAS DA PRODUÇÃO DE CAL



FONTE: Adaptado de FREAS (1994)

#### 2.4.1 Resíduos da Produção de Cal

O resíduo da produção de cal (RPC) é gerado na etapa de Calcinação quando, segundo a NBR 6.453 (2003b), a queima não é eficiente e cuja composição do material não obedece os teores mínimos de 88% para os óxidos de cálcio e Magnésio ( $\text{CaO} + \text{MgO} = 88\%$ ) e de 12% de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) (ABNT, 2003).

Os resíduos da produção de cal podem ser utilizados como material na construção civil, porém ressalta-se que há perda da reatividade ao longo do tempo, daí a recomendação de emprego logo após a produção, evitando-se o

armazenamento prolongado. O aproveitamento da cal residual como aglomerante depende das suas características a serem determinadas em laboratório, tomando-se como referência os requisitos e critérios da especificação para a cal industrial (SILVA, 2014).

A composição química do RPC é óxido de cálcio não hidratado ( $\text{CaO}$ ), hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), restos de carbonato de cálcio e magnésio não queimados ( $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ ), óxido de magnésio não hidratado ( $\text{MgO}$ ) e traços de óxidos  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , etc. (SILVA, 2014).

A definição pela sua utilização foi baseada em dois itens: suas propriedades aglomerantes e sua disponibilidade em grande quantidade; além, é claro, de minimizar seu impacto junto ao meio ambiente.

Diante do exposto, pode-se afirmar que o aproveitamento de resíduos industriais na construção civil envolve estudos dos materiais e das propriedades mecânicas dos compósitos gerados, bem como a verificação do atendimento às normas técnicas brasileiras NBR 7.170 (BNT, 1983) e NBR 6.136 (ABNT, 2006). Além disso, valorar os resíduos e os compósitos gerados por meio de um modelo matemático como o EPIP (*analytical tool for Environmental Performance in Industrial Processes*) possibilita com que a indústria avalie o seu desempenho ambiental nos processos produtivos auxiliando na tomada de decisões sobre quais resíduos deve aproveitar e quais os possíveis ganhos econômicos com esta ação.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e os métodos aplicados no estudo. A abordagem deste trabalho está voltada ao aproveitamento de resíduos a fim de gerar um compósito com características de concreto e com valor agregado e comercial, além de realizar a valoração dos resíduos da indústria de painéis de MDF e dos novos compósitos formados. A metodologia adotada neste estudo foi dividida em duas etapas principais, a saber:

- i. Aproveitamento de resíduos
  - análises físico-químicas e morfológicas de caracterização dos resíduos industriais estudados (lodo físico-químico, areia, cinzas, *dregs*, *grits*, lama de cal e resíduos da produção de cal);
  - estudar combinações dos resíduos de uma indústria de painéis de MDF (cinzas, lodo físico-químico e areia), com resíduos de uma indústria de celulose (*dregs*, *grits* e lama de cal) e resíduos da produção de cal (RPC), para formação de um compósito de construção civil com características de concreto, que atenda as normas brasileiras NBR 7.710 (ABNT, 1983) e NBR 6.136 (ABNT, 2006);
  - estudo da formação de estruturas morfológicas e a interação físico-química dos componentes utilizados nos compósitos desenvolvidos
- ii. Valoração de resíduos e dos compósitos
  - avaliação do desempenho ambiental relacionados aos aspectos ambientais a partir do levantamento dos processos industriais da indústria de painéis de MDF e aplicação do modelo matemático EPIP elaborado por MACENO et al. (2018).

A seguir, a descrição dos métodos e técnicas utilizados no desenvolvimento deste estudo.

### 3.1 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS

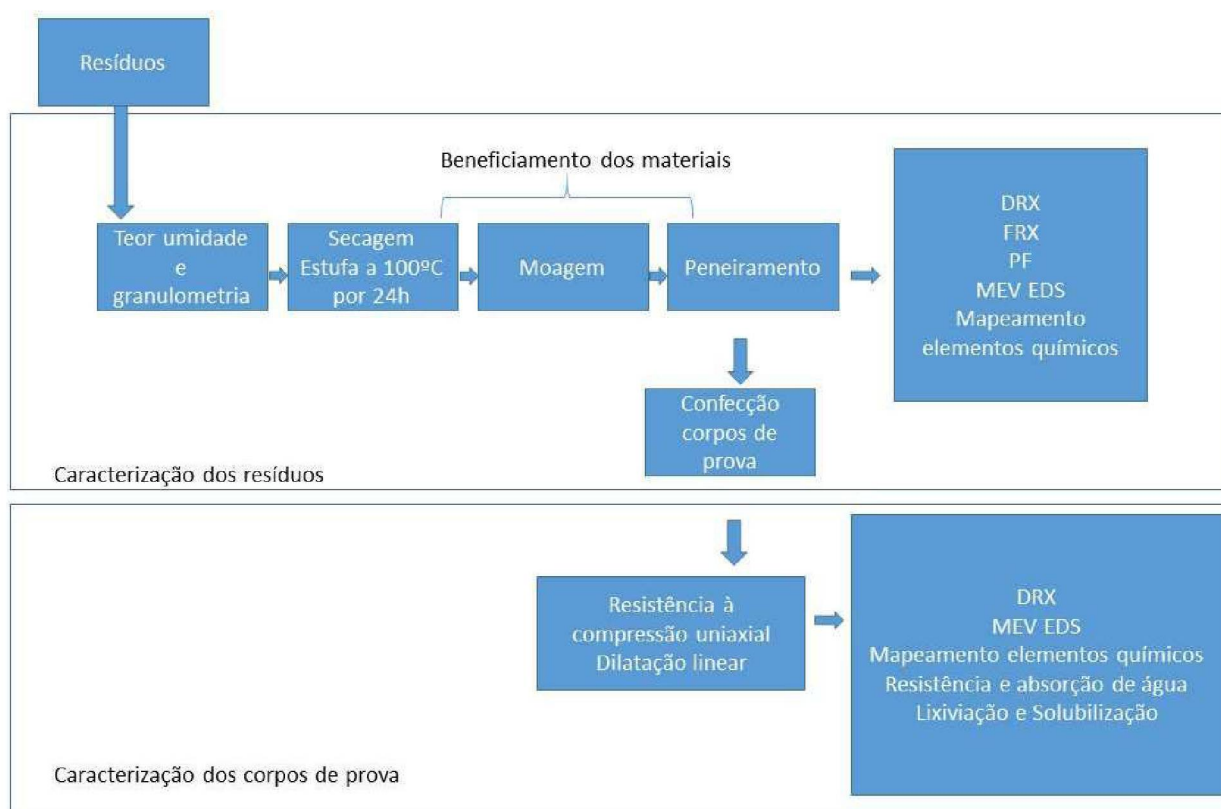
Os resíduos estudados da indústria de painéis de MDF foram aqueles produzidos em maiores quantidades: cinzas, lodo físico-químico e areia. Já os resíduos da indústria de celulose foram: *dregs*, *grits* e lama de cal, ambas situadas na região de Araucária-PR. Em conjunto, foram utilizados resíduos da produção de cal (RPC) provenientes de uma indústria situada na região metropolitana de Curitiba, em Almirante Tamandaré-PR.

Os resíduos foram caracterizados separadamente e depois foram misturados em diferentes proporções para o desenvolvimento de compósitos com características de concreto que possam ser utilizados na área de construção civil. Esta etapa exigiu 12 meses de testes, desde a confecção dos corpos de prova (mistura dos resíduos em estudo) até os demais testes abaixo citados, a fim de verificar a resistência dos corpos de prova (CPs) e suas possíveis mudanças mineralógicas, morfológicas ou estruturais.

A amostragem foi realizada em conformidade com a NBR 10.007 (2004d), constituindo-se uma amostra representativa.

Na FIGURA 12 apresenta-se resumidamente as etapas de caracterização dos resíduos e dos corpos de prova.

FIGURA 12 – ETAPAS DE CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS E DOS CORPOS DE PROVA



FONTE: A autora (2020)

### 3.1.1 Caracterização dos resíduos

Os resíduos da indústria de MDF (cinzas, lodo físico-químico e areia), os resíduos da indústria de celulose (*dregs*, *grits* e lama de cal) e o resíduo da produção de cal (RPC) foram caracterizados conforme os parâmetros elencados no QUADRO 2 a seguir:



QUADRO 2 – ANÁLISES LABORATORIAIS DOS RESÍDUOS

Amostra	Análises
<p><b>Matérias primas</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cinzas</li> <li>2. Lodo físico-químico</li> <li>3. Areia</li> <li>4. <i>Dregs</i></li> <li>5. <i>Grits</i></li> <li>6. Lama de cal</li> <li>7. Resíduos da produção de cal</li> </ol>	<p>           Teor de umidade            Composição granulométrica            Composição química por raios X – Fluorescência (FRX)            Composição mineralógica por raios X – Difração (DRX)            Perda ao fogo            Microscopia eletrônica de varredura (MEV)            Micro-análise química (EDS)            Mapeamento de elementos químicos         </p>

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Cerâmica, do Departamento de Engenharia Química; no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR), do Departamento de Geologia; estes da Universidade Federal do Paraná (UFPR), no Campus Centro Politécnico; no Laboratório de Microscopia Eletrônica do Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais (CMCM), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e no Laboratório de Microscopia, da Fiocruz.

Os procedimentos físico-químicos de umidade, composição granulométrica, e perda ao fogo estão de acordo com a metodologia especificada pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998) e com normas técnicas brasileiras.

### 3.1.2 Confeção dos corpos de prova

Para a geração do novo compósito com características similares ao bloco de concreto no quesito de resistência analisada conforme a NBR 5.739 (ABNT, 2007), foram preparados corpos de prova por meio da mistura de diferentes composições dos resíduos da indústria de MDF (cinzas provindas da queima da madeira, lodo físico-químico e areia), resíduos da indústria de celulose (*dregs*, *grits* e lama de cal) e rejeitos da indústria de cal (RPC) obedecendo os procedimentos de moldagem apresentados na norma NBR 5.738 (ABNT, 2003a). As composições foram delineadas em conformidade com a quantidade de geração destes resíduos dentro do processo industrial. O diferencial de seu preparo é a utilização de pressão da mistura dos materiais para sua confecção, sem queimá-los em fornos e a ausência de adição de

cimento Portland. Por não ser produzido em fornos, a fabricação deste tijolo implica na diminuição dos gastos energéticos com o processo, porém isto não afeta sua qualidade, uma vez que inclusive possui características físicas melhores que outros tijolos convencionais disponíveis no mercado.

Esta etapa foi desenvolvida no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná (UFPR), campus Centro Politécnico.

Os resíduos como lodo proveniente do tratamento físico-químico do efluente industrial, cinzas provindas da queima da madeira da indústria de MDF e *dregs* foram pulverizados em um moinho de bolas (FIGURA 13) da marca Tecnal, por algumas horas ou até passar 100% na peneira Mesh 35, e posteriormente foram acondicionados em recipiente bem fechados e identificados. Os *grits* por serem mais granulares e duros como pedra brita passaram anteriormente por um moinho de facas (FIGURA 13), para posteriormente ir ao moinho de bolas. Os resíduos como areia, *dregs*, lama de cal e os resíduos da indústria de cal já possuem granulometria menor e apenas foram peneirados até 0,3 mm (peneira Mesh 48), o que já permite melhor distribuição dos resíduos nos compósitos a serem gerados. Cabe destacar que todos foram secos em estufa a 100°C por 24h até peso constante.

FIGURA 13 – MOINHO DE BOLAS E MOINHO DE FACAS



FONTE: A autora (2020)

Primeiramente foram definidas sete composições, com variação dos resíduos estudados agregados à cal residual (RPC), conforme TABELA 3. A confecção dos corpos de prova (CP) foi realizada no Laboratório de Cerâmica

do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná (UFPR), campus Centro Politécnico.

TABELA 3 – COMPOSIÇÕES DOS CORPOS DE PROVA

Nº	MDF (%)				CELULOSE MIX (dregs, grits e lama de cal)
	CINZA	LODO	AREIA	RPC	
1	37	10	3	20	30
2	37	10	3	30	20
3	37	10	3	25	25
4	37	10	3	35	15
5	37	10	3	15	35
6	45	15	20	20	0
7	40	40	0	20	0

Com os resíduos da indústria de celulose foi realizado uma mistura com proporções de acordo com a sua geração industrial apresentada na TABELA 3. Sabendo que a geração é de 240 t/mês de *dregs*, de 90 t/mês de *grits* e de 900 t/mês de lama de cal, e que esta relação por dia seria de 8:3:30 t/dia, resultando em um somatório de 41 t/dia. Com isso, calculando de acordo com a sua proporção e considerando o valor de 41 t/dia como 100% da mistura, temos, em porcentagem que os valores de cada componente na mistura deve ser de 20, 7 e 73%, de *dregs*, *grits* e lama de cal, respectivamente.

Como o objetivo de se analisar também corpos de prova que contivessem em sua composição apenas resíduos da indústria de MDF foram inseridas as composições nº 6 e nº 7, a fim de verificar se a presença dos resíduos de celulose interfere de maneira significativa nas resistências dos compósitos gerados.

Para a preparação dos corpos de prova, a partir dos materiais pulverizados e secos, foi realizada a pesagem dos materiais conforme as variadas composições sugeridas na TABELA 3 (com diferentes proporções de cada resíduo estudado). Para cada composição foram confeccionados corpos de prova (CPs), variando entre 10 e 12 gramas de acordo com as proporções requeridas e com dimensões de 20 mm x 20 mm medidas e conferidas por paquímetro Mitutoyo Digimatic Caliper (0,01 - 150,00 mm). Os CPs que não estavam de acordo com estas dimensões ou que estivessem com rachaduras

foram descartados. Visto a grande quantidade de composições a serem avaliadas optou-se pelos corpos de prova nessas dimensões.

Os materiais foram pesados em balança digital de dois dígitos e colocados em graal de porcelana para melhor homogeneização. A balança utilizada é da marca MARTE AS 5500C. Após trituração em graal e pistilo, conforme a NBR 5.738 (ABNT, 2003a) que aborda os procedimentos de moldagem e de tempo de cura, a mistura uniformemente homogênea foi colocada no molde de aço (FIGURA 14) para a confecção do CP. Cabe ressaltar que o molde utilizado na confecção dos corpos de prova foi fabricado em aço, material não absorvente e quimicamente inerte aos resíduos trabalhados, com as seguintes dimensões internas: 20 x 60 mm.

FIGURA 14 – MOLDE DE AÇO PARA CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA



FONTE: A autora (2020)

Após a mistura ser colocada no molde, foi submetida à prensagem manual em prensa uniaxial (FIGURA 15), por 30 segundos, sob pressão de 10 MPa. Tendo em vista os recursos disponíveis, foi utilizada uma prensa manual para a sua compactação. Para minimizar a variabilidade dos dados os CPs foram moldados pela mesma pessoa.

FIGURA 15 – PRENSA MANUAL PARA CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA



FONTE: A autora (2020)

Após prensagem, o CP foi desmoldado e identificado. Suas dimensões conferidas e anotadas no registro de dados. Os corpos de prova foram guardados em bandejas plásticas, a uma temperatura ambiente e livre de intempéries até a data dos respectivos ensaios conforme a NBR 5.738 (ABNT, 2003a) que apresenta os procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova.

Esta etapa foi realizada no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná (UFPR), campus Centro Politécnico.

### *3.1.3 Caracterização dos corpos de prova*

Após confeccionados, os corpos de prova devem apresentar características que atendam à norma brasileira NBR 7.170 (ABNT, 1983), que trata da resistência dos tijolos maciços e à norma NBR 6.136 (ABNT, 2006), que aborda a resistência de blocos de concreto para vedação.

A resistência do material é importante de ser avaliada uma vez que indica durabilidade do material de acordo com o seu desempenho mecânico (CORRÊA, 2005).



As análises realizadas foram resistência à compressão uniaxial nos tempos de cura de 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180 e 365 dias. Logo os ensaios com os corpos de prova duraram no mínimo 12 meses a fim de verificar sua resistência e mudanças mineralógicas.

Duas composições cujos corpos de prova obtiveram melhores resultados de resistência à compressão uniaxial foram selecionadas e nestas foram realizadas as seguintes análises: composição mineralógica por Raios X – Difração (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV), micro-análise química (EDS) e mapeamento de elementos químicos, nos tempos de cura de 3, 90 e 365 dias. Os testes de resistência à água e absorção de água ocorreram aos 28 e 90 dias de cura. Já os ensaios de lixiviação e solubilização foram realizados no tempo de cura de 365 dias nas duas composições que foram selecionadas por apresentar melhores resultados de resistência à compressão uniaxial.

Os ensaios laboratoriais foram realizados a fim de caracterizar, avaliar as composições químicas e mineralógicas dos CPs confeccionados, assim como suas características mecânicas e químicas.

As análises laboratoriais para os corpos de prova gerados são apresentadas no QUADRO 3:

QUADRO 3 – ANÁLISES LABORATORIAIS DOS CORPOS DE PROVA

Amostra	Análises
<p><b>Corpos de prova – CP</b></p> <p>(Análises nas idades de: 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180, 365 dias)</p>	<p>Composição mineralógica por raios X – Difração (DRX)</p> <p>Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</p> <p>Micro-análise química (EDS)</p> <p>Mapeamento de elementos químicos</p> <p>Dilatação linear</p> <p>Resistência à compressão uniaxial</p> <p>Resistência à água e Absorção de Água</p> <p>Ensaio de lixiviação (NBR 10.005)</p> <p>Ensaio de solubilização (NBR 10.006)</p>

As análises foram realizadas no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Engenharia Química, no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR) do Departamento de Geologia; no Laboratório de Materiais (LaMats) do Departamento de Engenharia Mecânica, estes da Universidade Federal do Paraná (UFPR), no Campus Centro Politécnico; no Laboratório de

Microscopia eletrônica do Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais (CMCM) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR); no Laboratório de Microscopia eletrônica da Fiocruz e no laboratório terceirizado Teclab.

### 3.1.3.1 Análise de Teor de Umidade

Os ensaios para determinação do teor de umidade dos resíduos foram conduzidos no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Federal do Paraná. Foi adotado o processo gravimétrico para a determinação do teor de umidade das matérias primas, ou seja, pesa-se quantidades conhecidas dos materiais, acondicionadas em placas de Petri, acondicionadas na estufa na temperatura de 100°C por um período de 24 horas. Após este período, retira-se da estufa, acondicionando as placas de petri em dessecador até alcançar a temperatura ambiente, para poder manusear e pesar em balança digital.

A balança utilizada foi da marca Marte, modelo AS5500C, INMETRO 203649760, capacidade de 0,01 – 5000,00 g e precisão de 0,01 g (2 casas decimais). A estufa da marca Biomatic (sem etiqueta de identificação) e como vidraria placas de petri.

O teste foi realizado em triplicata para cada composição e obedeceu o determinado para este ensaio na norma NBR 16.097 (ABNT, 2012).

O peso da água é calculado mediante a aplicação da Equação 1.

$$Pa = Pt - Ps \quad (1)$$

Em que:

Pa = peso da água (g)

Pt = peso total (g)

Ps = peso seco (g) após estufa

A porcentagem da umidade é calculada mediante a aplicação da Equação 2.

$$h\% = (100 \times Pa)/Ps \quad (2)$$

Em que:

$h\%$  = umidade em porcentagem (%)

$Pa$  = peso da água (g)

$Ps$  = peso seco (g) após estufa

### 3.1.3.2 Análise de composição granulométrica

A análise granulométrica dos resíduos foi executada no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Engenharia Química da UFPR. Os ensaios foram executados em triplicata e a granulometria dos materiais foi obtida pelo processo de peneiramento da amostra conforme normatizado pela NBR 7.211 (ABNT, 2009a).

Os principais equipamentos e recursos disponíveis e utilizados foram balança da marca Marte, modelo AS5500C, INMETRO 203649760, com capacidade de 0,01 – 5000,00 g e precisão de 0,01 g (2 casas decimais); agitador de peneiras: marca Bertel, modelo Maq 349, serial 8706 do tipo eletromagnético; conjunto de peneiras: peneiras granulométricas, tampa e fundo marca Bertel, aberturas de 4; 2,38; 2,0; 1,0; 1,19; 0,71; 0,60; 0,5; 0,42; 0,30; 0,25; 0,177; 0,090; 0,063; 0,043; 0,036; 0,028; 0,020; 0,010; 0,006; 0,003 e 0,001 mm.

### 3.1.3.3 Análise de Fluorescência de Raios X (FRX)

Os ensaios de FRX foram conduzidos pelo LAMIR/UFPR e para tal foi utilizado um espectrômetro de fluorescência da marca Malvern PANalytical, modelo Axios Max, tubo de raios-X de Rh (FIGURA 16). Para a interpretação dos difratogramas foi utilizado o programa SuperQ 5.3. Foram realizadas apenas análises de FRX para a caracterização das matérias-primas (resíduos industriais). A técnica constitui-se em preparar o material e submetê-lo a feixes de raios X, e posteriormente avaliar as composições químicas das amostras.

Para o preparo, as amostras foram secas a 100-110°C e pulverizadas. Foram pesadas 7g da amostra seca, e juntamente com 1,4g de cera foi



preparada uma pastilha, a qual foi incidida pelos raios a fim de realizar sua análise.

FIGURA 16 – ESPECTRÔMETRO DE FLUORESCÊNCIA PARA ANÁLISE DE FRX



FONTE: LAMIR (2020)

#### 3.1.3.4 Análise de Difração de Raios X (DRX)

As análises de DRX foram realizadas para a caracterização das matérias primas (cinza, lodo, cal, *dregs*, *grits* e lama de cal) e para apenas duas composições do corpo de prova (composições de maior resistência) nas idades de 3, 90 e 365 dias. Os ensaios de DRX foram conduzidos pelo LAMIR/UFPR, ao qual foram fornecidos cerca de 15 g de cada amostra. Na técnica de difração de raios X foi utilizado um difratômetro marca Panalytical (FIGURA 17), modelo EMPYREAN, com detector X'Celerator, tubo de cobre. Para a interpretação dos difratogramas foi utilizado o programa X'spert High Score Plus, cujo banco de dados era PDF2.

FIGURA 17 – DIFRATÔMETRO PARA ANÁLISE DE DRX



FONTE: LAMIR (2020)

#### 3.1.3.5 Análise de perda ao fogo

Os ensaios de perda ao fogo foram conduzidos pelo LAMIR/UFPR. Para a análise de perda ao fogo, 2g da amostra foram pesadas em cadinho e depois levadas a mufla a 1000 °C por 2 horas. Após o cadinho esfriar o novo peso é verificado e assim calcula a porcentagem de perda ao fogo. Apenas foram realizadas análises de perda ao fogo para a caracterização das matérias-primas (cinza, lodo físico-químico, cal, *dregs*, *grits* e lama de cal).

#### 3.1.3.6 Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura com Microanálise Química (MEV-EDS) e Mapeamento de elementos químicos

Os ensaios de MEV-EDS e mapeamento de elementos químicos foram conduzidos pelo Laboratório de Microscopia Eletrônica do Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais (CMCM) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

O ensaio de MEV-EDS permite examinar e analisar, simultaneamente, a morfologia de um material e a sua composição elementar. A microanálise pode ser realizada de modo pontual ou mais abrangente da área, usada para analisar

a composição elementar quantitativa de uma área total ou para mapear pontos localizados em uma zona de interesse em particular (RAMACHANDRAN, 2001).

Estas análises foram realizadas para a caracterização das matérias primas (resíduos industriais) e para apenas duas composições de corpo de prova (composições de maior resistência) nas idades de 3, 90 e 365 dias. Para esta análise, foram utilizadas amostras retiradas das matérias-primas e dos corpos de prova rompidos nos ensaios de resistência à compressão uniaxial.

Como o material estudado não é condutor de eletricidade foi necessário primeiramente metalizar sua superfície com uma camada de ouro (FIGURA 18). Para a metalização com camada de ouro foi utilizado o metalizador SCD 030 Balzers union FL 9496, de 220V, do Laboratório de Microscopia Eletrônica da UFPR e da Fiocruz, com ouro de 99,99% de pureza. As amostras foram recobertas com ouro a uma corrente de 35 mA no tempo de 90 segundos de recobrimento, e a distância da amostra ao alvo foi de 3 a 4 cm.

Para as análises de MEV-EDS foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura, marca FEI, modelo quanta 200 ambiental, resolução de 140.000 vezes com padrão de ouro, equipado com EDS, marca Oxford, modelo 6427, com resolução de 137 eV e as imagens obtidas foram registradas em arquivo digital do laboratório de Microscopia Eletrônica da UTFPR.

FIGURA 18 – PREPARAÇÃO E METALIZAÇÃO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS



FONTE: A autora (2020)

O Microscópio Eletrônico de Varredura EVO MA 15 do Laboratório de Microscopia Eletrônica do Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais (CMCM) da UTFPR possui detectores Oxford Instruments EDS X-Max e WDS IncaWave 500, que permitem a microanálise e mapeamento de elementos químicos associados ao MEV. Com isso, foi possível avaliar a distribuição dos elementos químicos simultaneamente à geração de imagens do MEV e, assim, verificar questões como a homogeneidade do material e a possível influência de decisões sobre as operações de beneficiamento dos resíduos.

Acoplado ao MEV o Espectrômetro Dispersivo de Energia (EDS) realiza a microanálise química para a obtenção de informação sobre a presença e quantidade dos elementos químicos determinados na amostra pontualmente ou em uma área pré-determinada pela Microscopia Eletrônica de Varredura, tanto para as matérias-primas como para o compósito.

### 3.1.3.7 Análise de dilatação linear

Para a análise de dilatação linear, foi medido o diâmetro do corpo de prova com 90 dias com um paquímetro Mitutoyo Digimatic Caliper (0,01 - 150,00 mm).no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Engenharia Química da UFPR. Para cada composição foram utilizados 5 corpos de prova (CPs) para se obter um resultado mais representativo. A porcentagem de dilatação é calculada mediante a aplicação da Equação 3.

$$\%Dilatação = \frac{[(d - 20) \times 100]}{20} \quad (3)$$

Em que:

%Dilatação = porcentagem de dilatação

D = diâmetro medido do CP com 90 dias (mm)

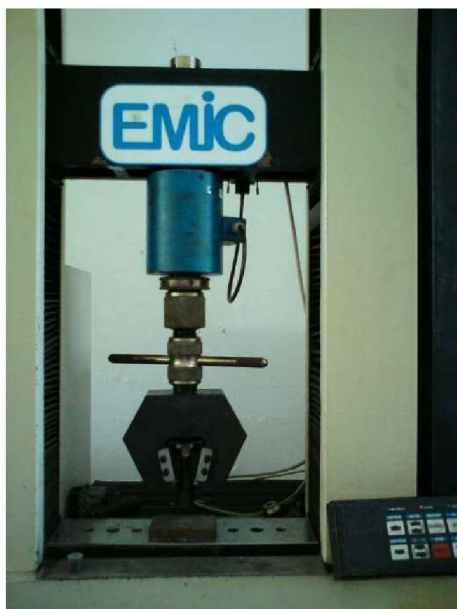
20 = diâmetro inicial do corpo de prova de 20 mm

100 = fator conversão para porcentagem

### 3.1.3.8 Análise de resistência à compressão uniaxial

Após o tempo de cura; de 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180 e 365 dias; cinco corpos de prova de cada composição foram submetidos ao teste de resistência à compressão uniaxial a fim de verificar formação de novas estruturas que possibilitam que o material suporte maiores pressões. O rompimento dos corpos de prova foi realizado na prensa EMIC DL 10000 cel Trd 28 (FIGURA 19) do Laboratório de Materiais (LaMats) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR.

FIGURA 19 – PRENSA EMIC PARA ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL



FONTE: A autora (2020)

A resistência à compressão uniaxial ( $f_c$ ) segue as diretrizes da norma NBR 5.739 (ABNT, 2007), cujos valores são calculados conforme a Equação 4 abaixo:

$$f_c = \frac{4 F}{\pi D^2} \quad (4)$$

Em que:

$f_c$  = resistência à compressão (MPa)

$F$  = Força máxima alcançada (N)

$D$  = diâmetro do corpo de prova (mm)

#### 3.1.3.9 Análise de absorção de água e resistência à compressão uniaxial

Para o ensaio de absorção de água por imersão foram empregados 5 corpos de prova para cada uma das composições, para as idades de 28 e 90 dias, conforme definido na norma NBR 9.778 (ABNT, 2005).

O coeficiente de absorção da água é calculado mediante a aplicação da Equação 5.

$$C_a = m_u - m_s \quad (5)$$

Em que:

$C_a$  = coeficiente de absorção de água

$m_u$  = massa do CP úmido (g)

$m_s$  = massa do CP seco (g)

O coeficiente de resistência após a absorção de água é calculado mediante a aplicação da Equação 6.

$$C_{ra} = \frac{R_u}{R_s} \quad (6)$$

Em que:

$C_{ra}$  = coeficiente de resistência após absorção de água

$R_u$  = resistência do CP úmido (MPa)

$R_s$  = resistência do CP seco (MPa)

### 3.1.3.10 Ensaios de lixiviação e solubilização

Estes ensaios, para determinar a imobilização de contaminantes, são importantes por se tratar de compósitos gerados a partir de resíduos industriais, e desta forma, pode-se atestar a segurança dos produtos gerados. Para tal apenas foram selecionadas duas composições que obtiveram melhores resultados de resistência à compressão uniaxial. O ensaio de lixiviação foi realizado no laboratório Teclab, baseado na NBR 10.005 (ABNT, 2004b) que aborda o procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Neste ensaio utiliza-se meio ácido para obtenção do extrato lixiviado. O ensaio de solubilização foi realizado no laboratório Teclab, baseado na NBR 10.006 (ABNT, 2004c) que aborda o procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, em meio com água. Os resultados foram comparados com



os limites estabelecidos nas normas para concluir sobre a segurança ambiental do produto obtido e determinar sua viabilidade técnica.

#### 3.1.3.11 Análise estatística

A análise estatística possibilita avaliar a significância dos efeitos das diferentes composições sobre a dilatação e a resistência dos compósitos gerados. Para isso, foram empregadas análises estatísticas de variância ANOVA (*Statistica 5.1 StatSoft, Inc. 1998*), utilizando o teste LSD (*Least Significant Difference*) com um nível de erro de 0,05. As análises estatísticas foram utilizadas nas resistências à compressão uniaxial e dilatação dos corpos de prova com maiores variações dos resultados.

#### 3.1.3.12 Comparativo com padrões da legislação brasileira vigente

Para o aproveitamento de resíduos para a construção civil, os corpos de prova foram elaborados com diferentes combinações, visando encontrar a combinação ótima em termos de absorção de água e resistência à compressão uniaxial, segundo as normas técnicas brasileiras.

A amostragem foi realizada em conformidade com a NBR 10.007 (2004d), com quarteamento, a fim de obter uma amostra representativa. Após pronto os corpos de prova deveriam possuir características que atendam a norma brasileira NBR 7.170 (ABNT, 1983), para tijolos maciços e NBR 6.136 (ABNT, 2006), para blocos de concreto para vedação.

### 3.2 VALORAÇÃO DOS RESÍDUOS E DOS COMPÓSITOS PELO MODELO MATEMÁTICO EPIP

#### 3.2.1 Valoração dos resíduos

Para a etapa de valoração dos resíduos da indústria de MDF utilizados nesta pesquisa (cinzas, lodo físico-químico e areia), foi utilizado o modelo matemático desenvolvido por Maceno et al. (2018) que considera a classificação do material, custos econômicos relacionados a eles, a unidade funcional de



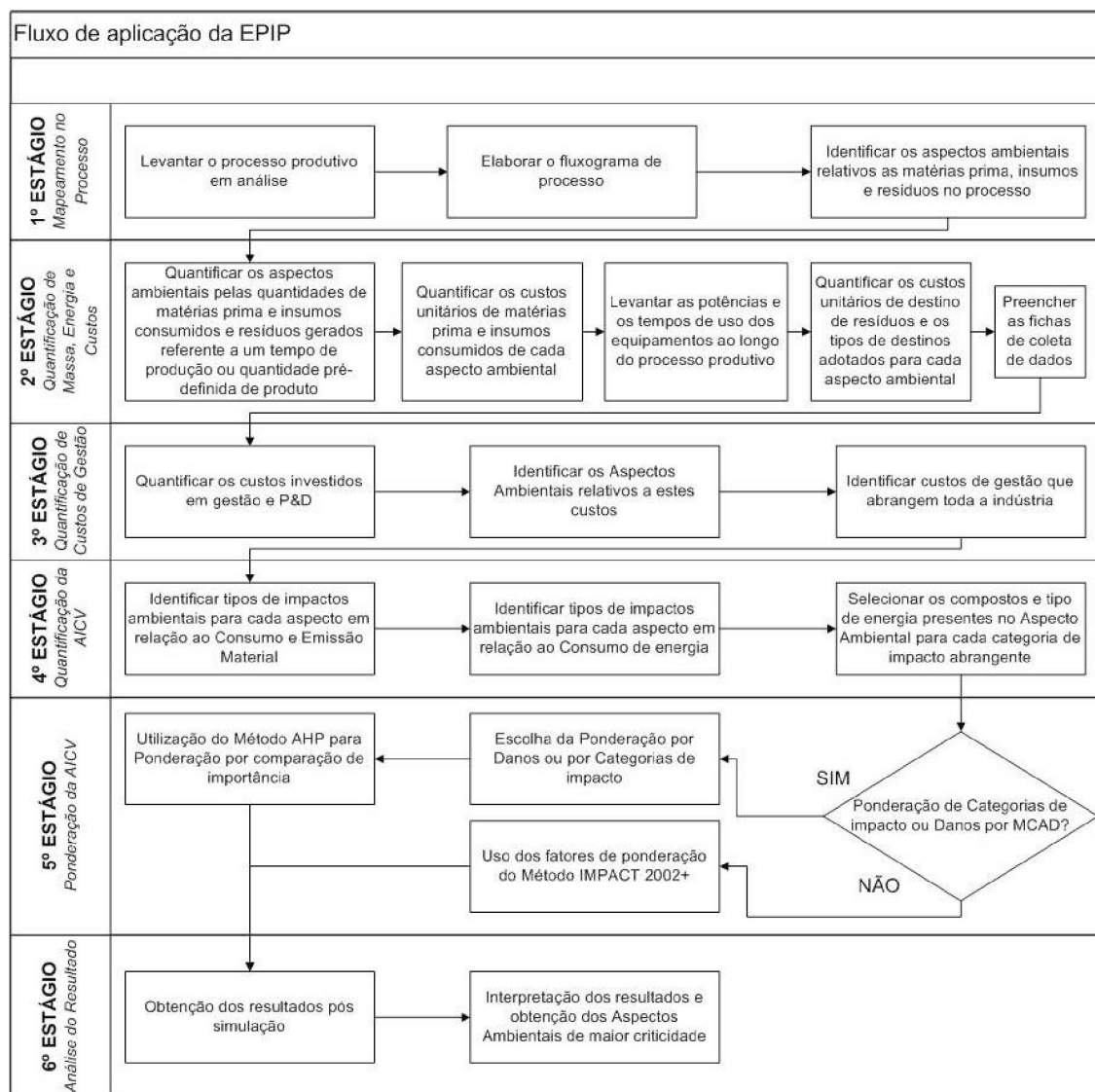
geração, balanços de massa, propriedades do material e impactos ambientais. Este modelo direciona a tomada de decisão em relação à busca de melhorias da condição ambiental da indústria. Sendo assim, foi utilizada a ferramenta denominada EPIP (*analytical tool for Environmental Performance in Industrial Processes* – Ferramenta Analítica de Desempenho Ambiental em Processos Industriais) para calcular o desempenho ambiental dos aspectos ambientais relacionados diretamente aos resíduos em estudo como forma de auxiliar a tomada de decisão de melhorias ambientais.

Como os resíduos de MDF estão em maior proporção nos compósitos gerados além de haver maior abertura à acessibilidade de informações foi selecionada apenas a indústria de MDF para valoração dos resíduos em estudo.

Foram realizadas visitas a empresa para o conhecimento do processo produtivo da empresa. A identificação dos resíduos foi realizada *in loco* em cada setor industrial, por meio do acompanhamento da produção e também das informações concedidas pelos líderes de produção e pelos operadores, bem como pelo PGRS da empresa. A quantificação dos resíduos foi realizada e posteriormente os valores foram inseridos em uma planilha.

O procedimento metodológico para a aplicação da EPIP segue 6 estágios como apresentado na FIGURA 20.

**FIGURA 20 – ETAPAS DE TRABALHO PARA UTILIZAÇÃO E APLICAÇÃO DO MODELO EPIP EM UMA INDÚSTRIA**



FONTE: MACENO et al. (2018)

### 3.2.2 Valoração dos compósitos gerados

Para a etapa de valoração dos compósitos gerados também foi utilizado o modelo matemático desenvolvido por Maceno et al. (2018). Assim, em conformidade com as normas foram analisados os corpos de prova que obtiveram resistência mecânica adequada de acordo com as normativas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS UTILIZADOS COMO MATÉRIAS-PRIMAS

A necessidade do aproveitamento de alguns resíduos é baseada em fatores como a quantidade significativa gerada, além de outros como o custo de disposição elevado em aterro industrial; odor; proibição da queima do lodo físico-químico em caldeira, além da dificuldade de aproveitamento dos resíduos.

As coletas dos resíduos utilizados na pesquisa foram realizadas em três indústrias. A amostragem dos resíduos sólidos visando ser representativa obedeceu a norma NBR 10.007 (ABNT, 2004d).

Os resíduos cinzas, lodo físico-químico e areia foram coletados em uma indústria de painéis de MDF, a qual está localizada em Araucária, Paraná. Na FIGURA 21 é apresentada a indústria e os referidos resíduos.

FIGURA 21 – INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MDF E RESPECTIVOS RESÍDUOS: (a) AREIA, (b) LODO FÍSICO-QUÍMICO E (c) CINZAS



FONTE: A autora (2020)

Os resíduos *dregs*, *grits* e lama de cal foram provindos de uma indústria de celulose, também localizada em Araucária, Paraná. Na FIGURA 22 são apresentados os locais onde os resíduos foram coletados.

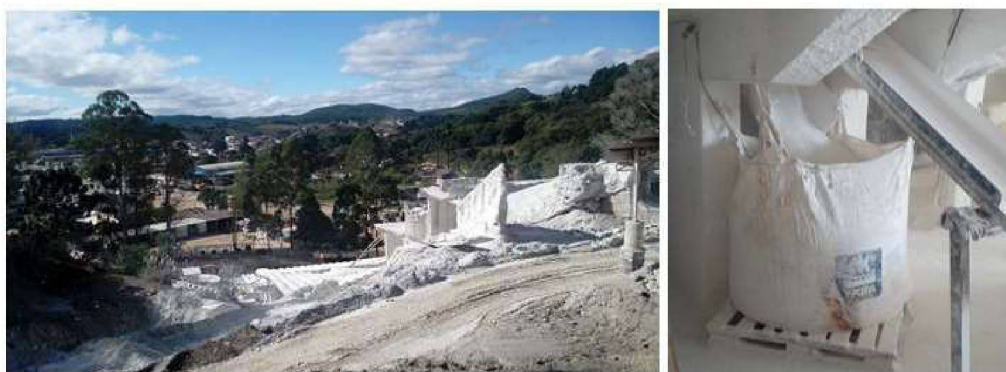
FIGURA 22 – INDÚSTRIA DE CELULOSE E LOCAIS DE COLETA DOS RESÍDUOS: (a) DREGS, (b) GRITS E (c) LAMA DE CAL



FONTE: A autora (2020)

E por fim, o resíduo da produção de cal (RPC) foi coletado em uma empresa que está localizada em Almirante Tamandaré, Paraná (FIGURA 23).

FIGURA 23 – INDÚSTRIA DE CAL E LOCAL DE COLETA DO RPC



FONTE: A autora (2020)

Os resíduos da indústria de painéis de MDF e de celulose são produzidos na proporção apresentada na TABELA 4.

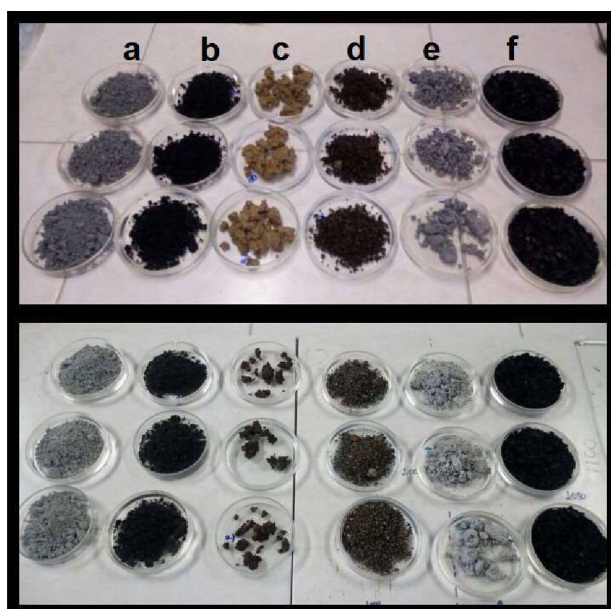
TABELA 4 – PRODUÇÃO MENSAL DOS RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE MDF E CELULOSE

Indústria	Resíduo	Produção mensal de resíduos t/mês
<b>MDF</b>	Cinzas	1200
	Lodo físico-químico	400
	Areia	120
<b>Celulose</b>	<i>Dregs</i>	240
	<i>Grits</i>	90
	Lama de cal	900

As análises de teor de umidade e composição granulométrica foram realizadas no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná (UFPR), campus Centro Politécnico.

Na FIGURA 24 são apresentados os resíduos em estudo antes e depois de serem secos na estufa a 100°C por 24h.

FIGURA 24 – RESÍDUOS “IN NATURA” E APÓS SECAGEM POR 2 DIAS, NA SEQUÊNCIA (a) LAMA DE CAL, (b) DREGS, (c) LODO FÍSICO-QUÍMICO, (d) AREIA, (e) GRITS E (f) CINZAS



FONTE: A autora (2020)

Para a caracterização das matérias-primas foi realizada análise, em triplicata, da umidade da amostra acondicionada em placa de petri pela diferença



de peso, perda de água, durante a permanência em estufa a 100° C, num período de 48 horas, resultando nos valores apresentados no QUADRO 4.

QUADRO 4 – ANÁLISES DE UMIDADE DOS RESÍDUOS

Indústria	Resíduos	Peso placa vazia (g)	Peso total (Placa com material) (Pt) (g)	Peso seco após estufa (Ps) (g)	Peso da água (Pa = Pt – Ps) (g)	Umidade em porcentagem (h% = 100. Pa/ Ps. (h%))	Média da Umidade em Porcentagem (h%média)
MDF	Cinzas	115,05	125,51	121,64	3,87	3,18	2,76
		121,13	131,13	127,91	3,22	2,52	
		117,45	127,45	124,23	3,22	2,59	
	Lodo físico-químico	119,60	149,12	128,25	20,87	16,27	23,23
		115,81	145,41	124,73	20,68	16,57	
		47,74	77,69	56,78	20,91	36,82	
	Areia	115,59	145,08	141,19	3,89	2,76	2,69
		121,1	151,23	147,48	3,75	2,54	
		120	150,04	146	4,04	2,77	
Celulose	Dregs	118,47	148,2	139,5	8,69	6,22	8,28
		50,45	80,07	71,22	8,85	12,42	
		128,2	158	148,8	9,2	6,18	
	Grits	118,99	148,04	143,2	4,84	3,79	2,92
		114,8	144,28	139,7	4,58	3,28	
		115,36	145,59	142,57	3,02	2,12	
	Lama de cal	114,36	144,05	134,47	9,58	7,12	9,14
		115,88	145,12	135,88	9,24	6,80	
		47,89	77,1	67,93	9,17	13,49	
Cal	RPC	116,24	130,86	131,75	-0,89	-0,68	-0,72
		114,82	128,14	129,02	-0,88	-0,68	
		115,36	132,07	133,14	-1,07	-0,80	

Evidencia-se que a cal utilizada como resíduo da produção de cal (RPC) era virgem, não hidratada, e absorveu umidade após secagem pela estufa a 100°C passando de CaO para Ca(OH)<sub>2</sub>, o que justifica o aumento de massa observado, por isso, o valor negativo da umidade.

As análises de composição granulométrica foram realizadas no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná (UFPR), campus Centro Politécnico. As análises de DRX e FRX das matérias-primas foram realizadas no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR) do Departamento de Geologia. E as análises de MEV-EDS e mapeamento de elementos químicos dos resíduos

foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica do Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais (CMCM) da UTFPR.

#### 4.1.1 Cinzas da queima da madeira

Para a análise de composição granulométrica, os ensaios foram executados em triplicata e a granulometria dos materiais foi obtida pelo processo de peneiramento da amostra conforme NBR 7.211 (ABNT, 2009a).

A cinza foi classificada como agregado graúdo de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), com maior concentração na peneira com 4,00 mm de abertura, com o percentual retido de 20,68 % da massa analisada. O ensaio de granulometria para a cinza é apresentado na TABELA 5.

TABELA 5 – COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DAS CINZAS

Abertura (mm)	Retido (g)	% Retido	Soma %
4,00	20,68	20,68	20,68
2,00	12,25	12,25	32,93
0,5	9,18	9,18	42,11
0,25	8,75	8,75	50,86
0,063	8,72	8,72	59,58
0,043	7,69	7,69	67,27
0,036	6,28	6,28	73,55
0,028	5,25	5,25	78,80
0,020	4,36	4,36	83,16
0,010	4,22	4,22	87,38
0,006	4,20	4,20	91,58
0,003	3,99	3,99	95,57
0,001	3,87	3,87	99,44
Fundo	0,56	0,56	100
Total			
Inicial	100,00 g		

A cinza utilizada para a confecção dos corpos de prova foi ainda analisada quanto a sua composição química e mineralógica por FRX e DRX, e os resultados foram complementares, indicando uma mistura de compostos de silício, de alumínio, de ferro, como mostra a TABELA 6 e a TABELA 7. A

percentagem da Perda ao Fogo (PF) da cinza “*in natura*” foi de 11,04% e posteriormente para a cinza requeimada em mufla esse valor diminuiu, como esperado, para 3,45%. Isso indica que antes de requeimar a cinza continha muita matéria orgânica e pedaços de madeira mal queimadas que poderiam prejudicaram a estrutura dos e causar rachaduras nos corpos de prova gerados.

A análise de composição química da cinza (TABELA 6) demonstra a predominância de SiO<sub>2</sub> (45,0% de peso), seguido de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (18,1%), CaO (11,0%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6,8%), K<sub>2</sub>O (5,1%), MgO (3,1%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (2,1%), SO<sub>3</sub> (1,6%), TiO<sub>2</sub> (1,3%), e Na<sub>2</sub>O (1,0%). Outros compostos estão presentes em uma quantidade menor do que 1% de peso.

TABELA 6 – RESULTADOS DA FRX PARA A CINZA REQUEIMADA

Componentes	(%)
SiO <sub>2</sub>	45,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,1
CaO	11,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,8
K <sub>2</sub> O	5,1
MgO	3,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,1
SO <sub>3</sub>	1,6
TiO <sub>2</sub>	1,3
Na <sub>2</sub> O	1,0
MnO	0,6
Cl	0,5
BaO	0,1
SrO	0,1
ZnO	0,1
ZrO <sub>2</sub>	0,1
Rb <sub>2</sub> O	< 0,1
PF	3,45

Na FIGURA 25 e na TABELA 7 é apresentada a caracterização mineralógica da cinza a partir da análise de DRX, com a presença de picos clássicos de Quartzo (Q) e Hematita (H), característicos de uma estrutura cristalina.



FIGURA 25 – DIFRATOGRAMA DA CINZA

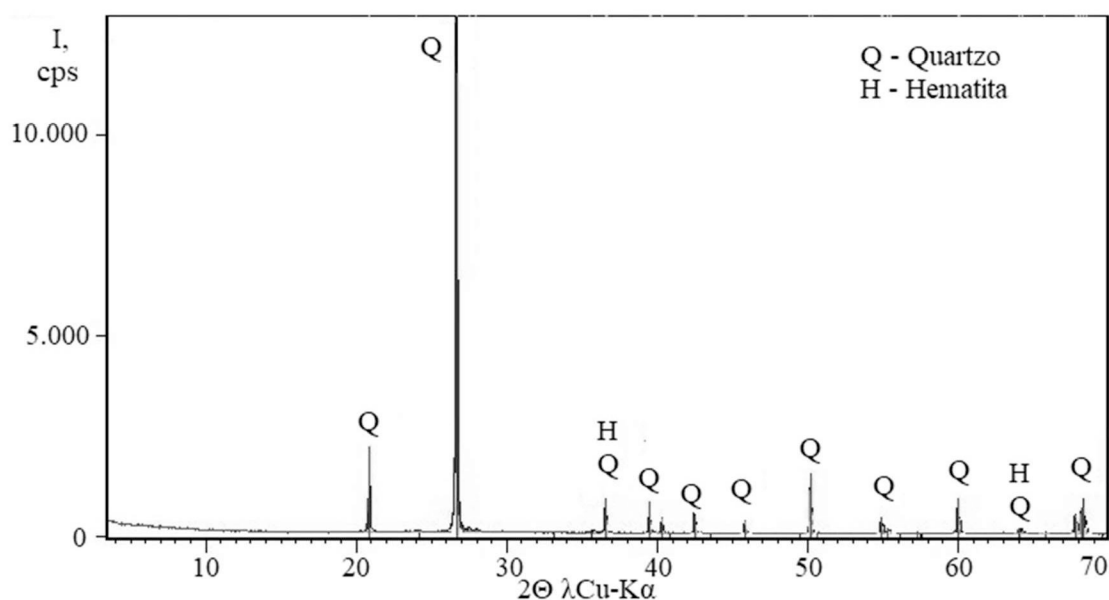


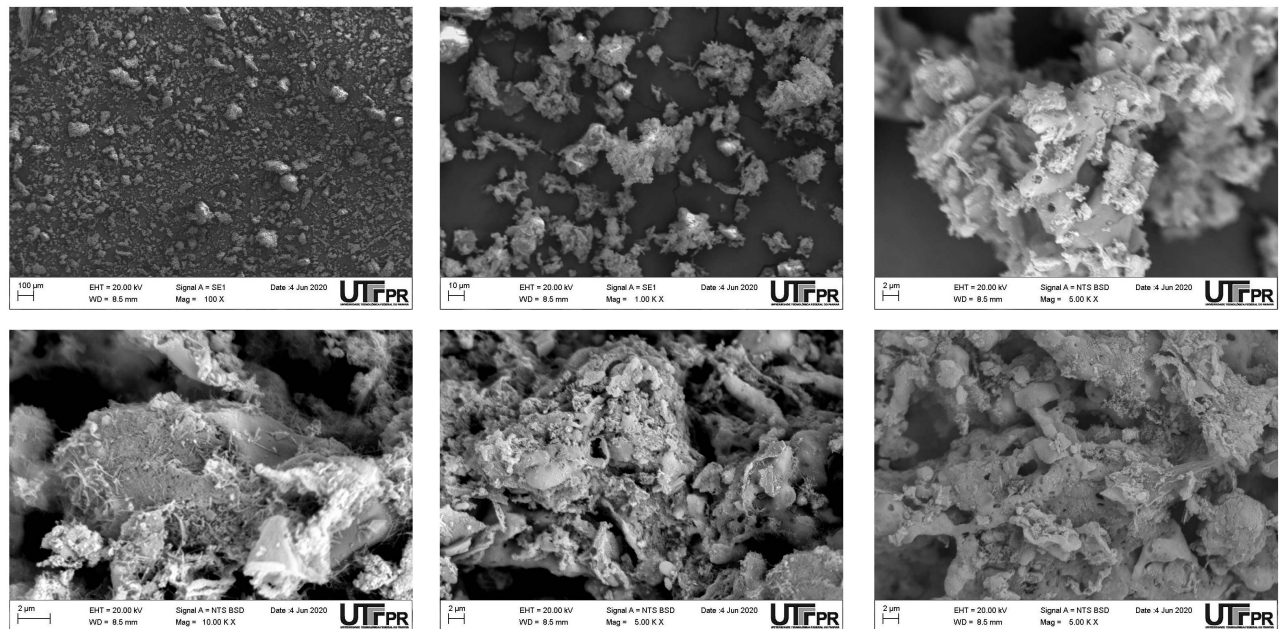
TABELA 7 – RESULTADOS DA DRX PARA A CINZA

Código	Nome do composto	Fórmula Química
Q	Quartzo	SiO <sub>2</sub>
H	Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

Nas análises de MEV-EDS foi observada a composição morfológica da cinza conforme a FIGURA 26. O resultado da aplicação da microscopia eletrônica de varredura permite observar que nas micrografias todas as partículas de cinza têm diferentes tamanhos e morfologia, além de evidenciar que as partículas não possuem ligação entre si. Esta grande diversidade entre as partículas revela uma alta porosidade do material por não haver ligação entre os componentes. Com a magnificação das imagens é possível observar que não há uma interação maior entre as partículas.

A diversidade de formas livres sem ligação umas com as outras e de tamanhos diferentes nos permite concluir que não há uma interação química significativa entre eles, caracterizando um material disforme.

FIGURA 26 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DAS CINZAS



Na FIGURA 27 são apontados os pontos onde foi realizada a microanálise química de EDS, seus resultados estão apresentados na TABELA 8 e na FIGURA 28.

FIGURA 27 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DAS CINZAS

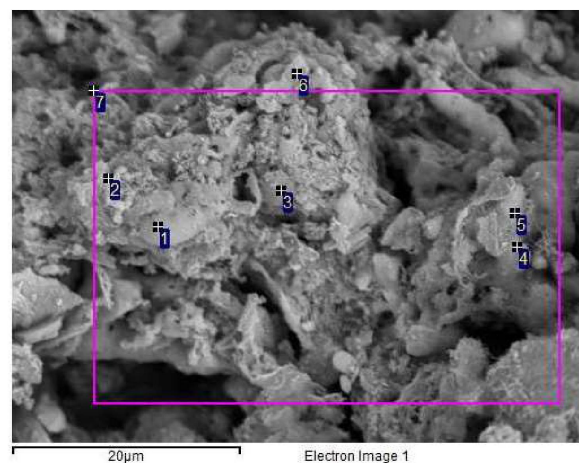
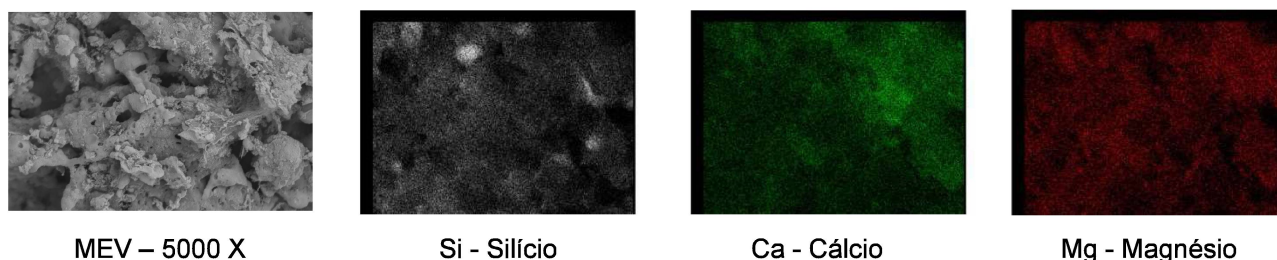


TABELA 8 – ANÁLISE ATÔMICA DAS CINZAS PELO MÉTODO EDS

Composição atômica de pontos da amostra, por % de peso													
Espectro	O	Na	Mg	Al	Si	P	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Total
Ponto 1	57,12	1,34	1,55	13,98	10,29	1,82	0,47	5,25	5,76	0,16		2,27	100,0
Ponto 2	59,41	0,83	2,54	13,98	6,04	3,51	0,68	2,28	8,59		0,29	1,84	100,0
Ponto 3	47,69	1,00	1,68	20,60	8,09	2,89	1,05	4,78	9,32	0,20	0,38	2,30	100,0
Ponto 4	50,79	1,09	1,98	10,90	16,66		0,36	6,84	5,20	0,43	0,45	5,31	100,0
Ponto 5	52,24	1,01	1,03	10,52	21,11		0,26	8,03	3,46			2,34	100,0
Ponto 6	52,81	1,05	2,49	16,30	8,35	2,44	0,58	4,55	7,51	0,26	0,37	3,27	100,0
Ponto 7	53,79	1,04	1,61	13,60	10,70	2,15	0,80	4,87	7,69	0,25	0,33	3,16	100,0
Máximo	59,41	1,34	2,54	20,60	21,11	3,51	1,05	8,03	9,32	0,43	0,45	5,31	
Mínimo	47,69	0,83	1,03	10,52	6,04	1,82	0,26	2,28	3,46	0,16	0,29	1,84	

FIGURA 28 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DAS CINZAS



Os resultados apresentados estão de acordo com o observado nas análises de FRX das cinzas, altas concentrações de óxidos, e a presença dos elementos de silício, ferro, alumínio, cálcio e magnésio.

#### 4.1.2 Lodo físico-químico da ETE

Para a análise de composição granulométrica, o lodo físico químico foi seco até peso constante e pulverizado em um moinho de bolas, o que lhe conferiu uma classificação de agregado miúdo, conforme especificações da NBR 7211 (ABNT, 2009), no qual a maior concentração deste elemento se deu no laser com 0,010 mm, com o percentual retido de 39,45% da massa analisada. O ensaio de granulometria para o lodo físico-químico está descrito na TABELA 9.

TABELA 9 – COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DO LODO FÍSICO-QUÍMICO

<b>Abertura (mm)</b>	<b>Retido (g)</b>	<b>% Retido</b>	<b>Soma %</b>
2,00	0	0	0
0,5	0	0	0
0,25	0	0	0
0,063	0	0	0
0,043	0,97	0,97	0,97
0,036	4,36	4,36	5,33
0,028	16,12	16,12	21,45
0,020	28,14	28,14	49,59
0,010	39,45	39,45	89,04
0,006	5,42	5,42	94,46
0,003	4,26	4,26	98,72
0,001	1,25	1,25	99,97
Fundo	0,03	0,03	100
Total			
Inicial	100,00 g		

A análise de FRX para o lodo físico-químico indicou a presença de uma mistura de compostos de cálcio (7,3%), alumínio (2,9%), magnésio (1,3%) e silício (1,2%) como mostra a TABELA 10. A quantidade dos outros compostos foi menor do que 1%. A percentagem da Perda ao fogo (PF) foi 85,48%.

TABELA 10 – RESULTADOS DA FRX PARA O LODO FÍSICO-QUÍMICO

Componentes	(%)
CaO	7,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,9
MgO	1,3
SiO <sub>2</sub>	1,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,8
SO <sub>3</sub>	0,3
Na <sub>2</sub> O	0,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1
MnO	0,1
Cl	0,1
K <sub>2</sub> O	0,1
SrO	< 0,1
TiO <sub>2</sub>	< 0,1
ZnO	< 0,1
PF	85,48

Na FIGURA 29 é apresentada a caracterização mineralógica do lodo físico-químico a partir da análise de DRX, com a presença de picos de calcita. E na TABELA 11 está a legenda do difratograma de raios X do lodo físico-químico.

FIGURA 29 – DIFRATOGRAMA DO LODO FÍSICO-QUÍMICO

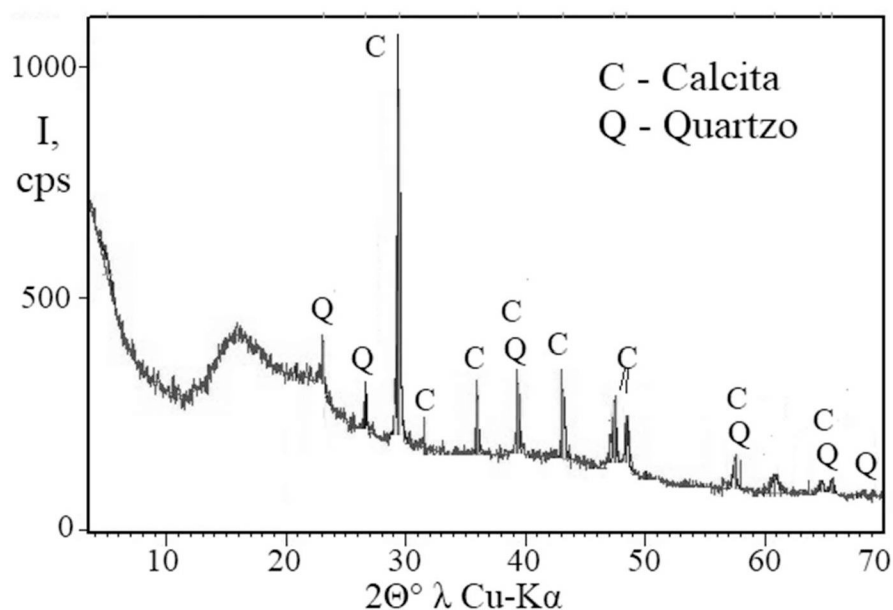


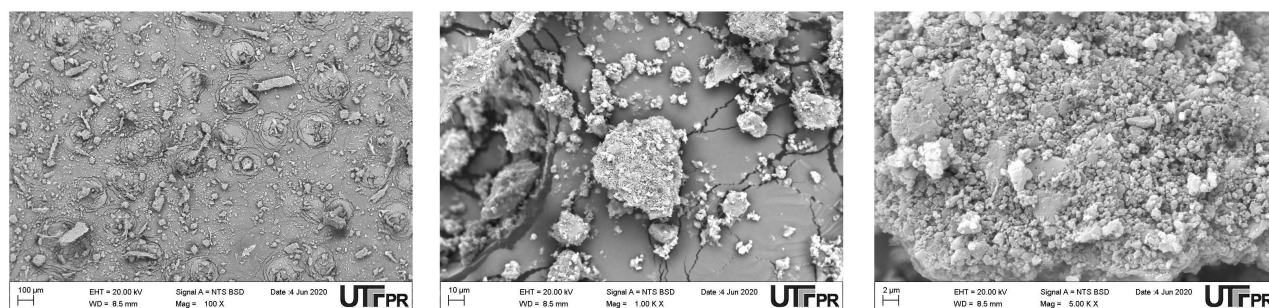
TABELA 11 – RESULTADOS DA DRX PARA O LODO FÍSICO-QUÍMICO

Código	Nome do composto	Fórmula Química
Q	Quartzo	SiO <sub>2</sub>
C	Calcita	CaCO <sub>3</sub>

A composição mineral do lodo de ETE é representada principalmente por calcita CaCO<sub>3</sub> com pequenas inclusões de quartzo SiO<sub>2</sub> e muito alto teor das matérias amorfas (FIGURA 29). Entre ângulos  $2\theta^\circ = 11,5^\circ$  e  $26,6^\circ$  é visível também o halo típico para materiais vítreos amorfos. A maior intensidade dos picos de calcita um pouco prevalece nível de 1000 cps, o que significa baixo nível de cristalização deste mineral. Apenas um único pico do quartzo sem coincidir com o pico de calcita no ângulo  $2\theta^\circ = 26,7^\circ$  com pequena intensidade; dois outros picos nos ângulos  $2\theta^\circ = 39,3^\circ$  e  $57,5^\circ$  tem coincidência com picos de calcita e por isso é muito difícil valorizar as intensidades deles. Mas o teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0,1% (TABELA 10) confirma baixa influencia de hematite em reatividade química de lodo de ETE.

Nas análises de MEV-EDS foi observada a composição morfológica do lodo, conforme a FIGURA 30.

FIGURA 30 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DO LODO FÍSICO-QUÍMICO



Para o lodo foi verificado que há uma pequena interação entre suas partículas, uma vez que devido sua umidade há uma hidratação que promove a tendência dos conglomerados se reunirem e interagirem quimicamente entre si. Nas micrografias da FIGURA 30 se destacam partículas de lodo com diferentes tamanhos e morfologia, algumas até mesmo mais angulosas e arredondadas. Com a magnificação das imagens é possível verificar uma interação química



inicial já existente no material, porém sua superfície ainda é irregular devido às partículas no meio. A característica é de um material disforme, pois tanto na área geral como na magnificação, percebe-se a mistura de micropartículas com diferentes tamanhos e morfologias.

Nos pontos apresentados na micrografia da FIGURA 31 foi realizada a microanálise química de EDS, seus resultados estão apresentados na TABELA 12 e na FIGURA 32, confirmando os resultados da FRX, tendo apresentado elevada concentração de cálcio e alumínio.

FIGURA 31 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DO LODO FÍSICO-QUÍMICO

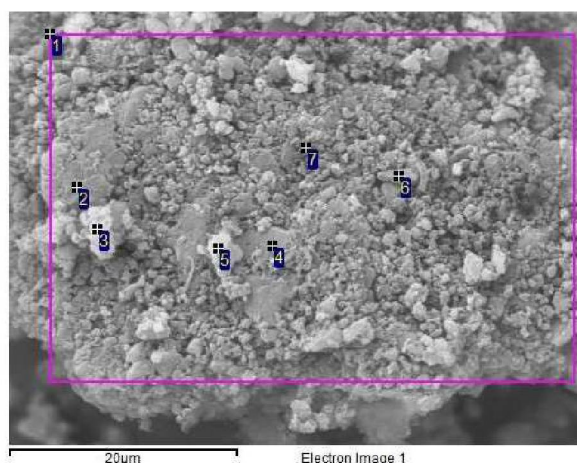
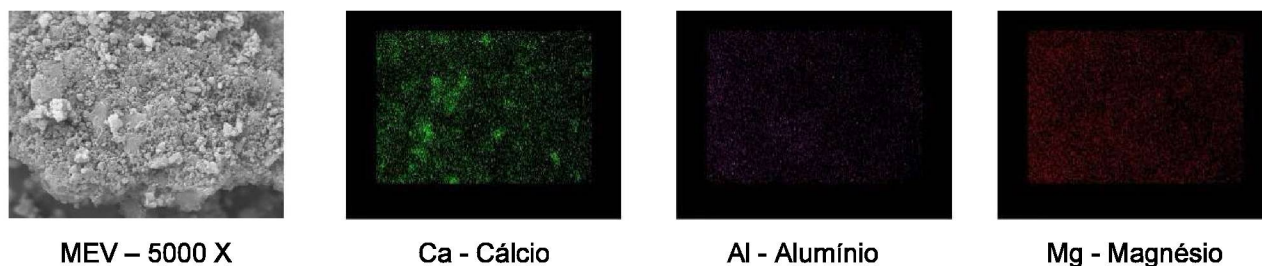


TABELA 12 – ANÁLISE ATÔMICA DO LODO FÍSICO-QUÍMICO PELO MÉTODO EDS

Composição atômica de pontos da amostra, por % de peso							
Espectro	Mg	Al	Si	Cl	Ca	Fe	Total
Ponto 1	8,85	22,36	9,82	2,01	56,97		100,0
Ponto 2	10,89	31,76	11,54		45,81		100,0
Ponto 3	10,92	24,27	6,48		58,34		100,0
Ponto 4	9,37	36,44	11,49	2,33	40,36		100,0
Ponto 5	9,29	33,45	10,58		46,68		100,0
Ponto 6	12,25	22,90	6,36	1,85	54,04	2,60	100,0
Ponto 7	7,59	22,06	6,80		61,84	1,70	100,0
Máximo	12,25	36,44	11,54	2,33	61,84	2,60	
Mínimo	7,59	22,06	6,36	1,85	40,36	1,70	

FIGURA 32 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DO LODO FÍSICO-QUÍMICO



O mapeamento elementar indica destaque para cálcio e alumínio, visto que os coagulantes (PAC) utilizados no tratamento do efluente da ETE contêm alumínio em sua composição.

#### 4.1.3 Areia

Na análise de composição granulométrica da areia foi observada que esta continha grande quantidade de pedregulhos e pregos, como apresentado na FIGURA 33. Fato este que implica na necessidade de peneiramento prévio para uso do material. Na TABELA 13 são apresentados os valores obtidos na análise de granulometria da areia.

FIGURA 33 – AREIA COM A PRESENÇA DE PEDREGULHOS E PREGOS



FONTE: A autora (2020)



TABELA 13 – COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA AREIA

Abertura (mm)	Retido (g)	% Retido	Soma %
2,38	0,48	0,22	0,22
1,19	64,3	29,69	29,91
0,71	106,38	48,35	78,26
0,600	22,9	10,41	88,67
0,420	21,51	9,67	98,44
0,300	2,66	1,21	99,65
0,250	0,27	0,12	99,77
0,177	0,19	0,08	99,86
Fundo <0,177	0,55	0,25	100
Total Inicial	220,0 g	100,00	

A análise de FRX para a areia indicou a presença de uma mistura de compostos de silício (52,3%), alumínio (12,6%), ferro (7,8%), cálcio (6,7%), como mostra a TABELA 14. A percentagem da Perda ao fogo (PF) foi 11,63%.

TABELA 14 – RESULTADOS DA FRX PARA A AREIA

Componentes	(%)
SiO <sub>2</sub>	52,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,8
CaO	6,7
K <sub>2</sub> O	2,6
MgO	2,3
SO <sub>3</sub>	1,2
TiO <sub>2</sub>	1,2
Na <sub>2</sub> O	0,6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,5
MnO	0,2
ZnO	0,1
ZrO <sub>2</sub>	0,1
BaO	0,1
CuO	< 0,1
Cl	< 0,1
SrO	< 0,1
Rb <sub>2</sub> O	< 0,1
PF	11,63%

Na FIGURA 34 é apresentada a caracterização mineralógica da areia a partir da análise de DRX, com a presença de picos de quartzo, calcita e anortita (TABELA 15).

FIGURA 34 – DIFRATOGRAMA DA AREIA

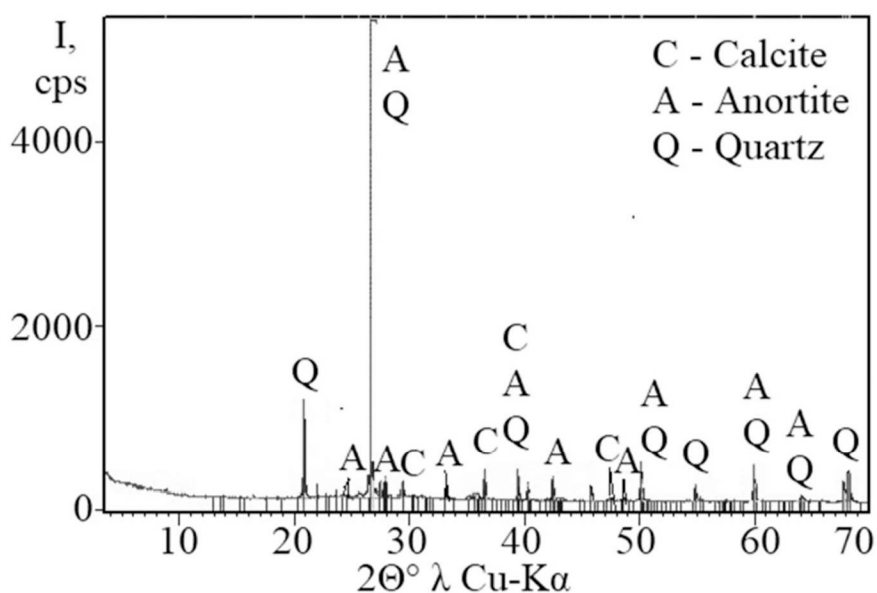
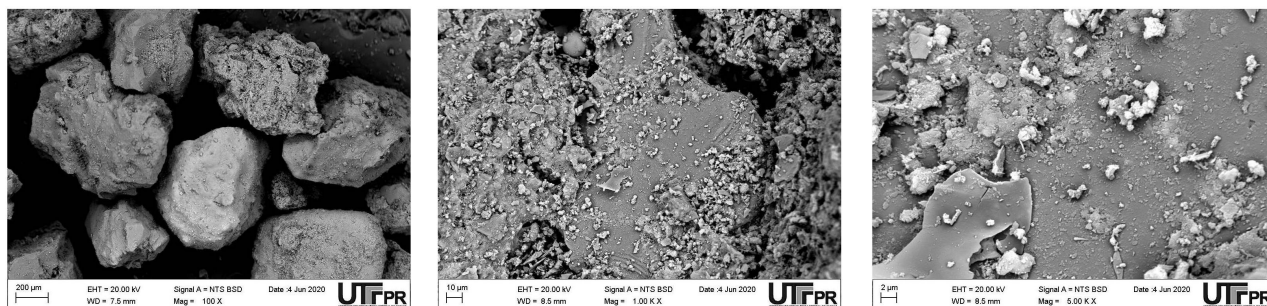


TABELA 15 – RESULTADOS DA DRX PARA A AREIA

Código	Nome do composto	Fórmula Química
Q	Quartzo	SiO <sub>2</sub>
C	Calcita	CaCO <sub>3</sub>
A	Anortita	(Ca, Na) (Al, Si) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>

Nas análises de MEV-EDS da areia foi observada sua composição morfológica, conforme a FIGURA 35.

FIGURA 35 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA AREIA



As micrografias da areia apresentam microestruturas de forma irregular dominante. A análise apontou ainda uma ampla variedade morfológica em sua superfície; grãos de alta e baixa esfericidade, variando de arredondado a anguloso.

Nos pontos apresentados na micrografia da FIGURA 36 foi realizada a microanálise química de EDS, seus resultados estão apresentados na TABELA 16 e na FIGURA 37.

FIGURA 36 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DA AREIA

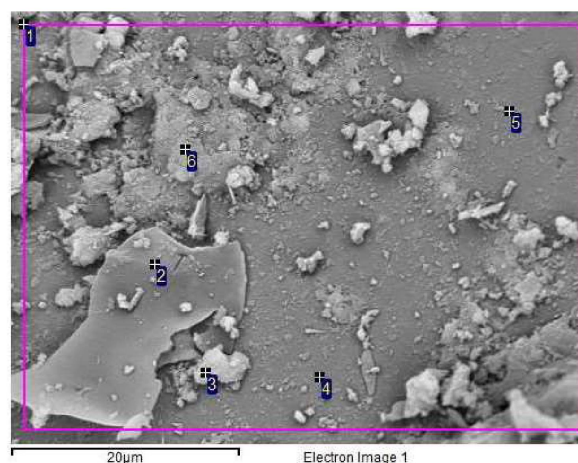
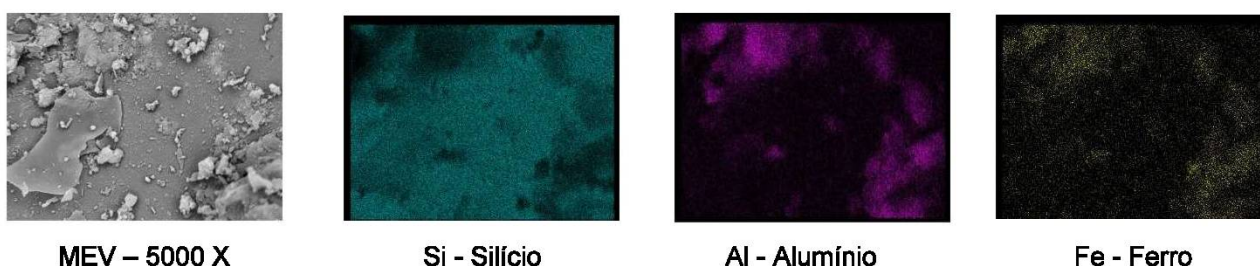


TABELA 16 – ANÁLISE ATÔMICA DA AREIA PELO MÉTODO EDS

Composição atômica de pontos da amostra, por % de peso								
Espectro	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	Total
Ponto 1	0,55	5,64	85,64	1,12	1,12	1,03	4,89	100,0
Ponto 2	0,44	1,45	94,93	0,53	0,97		1,68	100,0
Ponto 3		0,68	97,94				1,38	100,0
Ponto 4			99,04				0,96	100,0
Ponto 5		0,76	97,66				1,58	100,0
Ponto 6	2,25	15,24	67,52	2,85	0,77	1,43	9,93	100,0
Máximo	2,25	15,24	99,04	2,85	1,12	1,43	9,93	
Mínimo	0,44	0,68	67,52	0,53	0,77	1,03	0,96	

FIGURA 37 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DA AREIA



Confirmando os resultados da FRX, a areia apresenta altos teores de silício, na análise de fluorescência chegou a apresentar cerca de 52,3% de óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ). Outros elementos que se destacam em sua composição é o alumínio e o ferro.

#### 4.1.4 Dregs

O *dregs* apresenta coloração escura, possivelmente atribuída ao processo de queima da fração de matéria orgânica dissolvida no licor residual de cozimento, o Licor Preto, em Caldeira de Recuperação, processo este que antecede ao clareamento do Licor Verde, no qual esse resíduo é gerado. De acordo com a análise de composição granulométrica, o *dregs* é classificado como agregado miúdo, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009), onde a maior concentração se deu na peneira com abertura de 0,010 mm, cujo percentual retido foi de 28,26 % da massa analisada (TABELA 17).

TABELA 17 – COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DO DREGS

<b>Abertura (mm)</b>	<b>Retido (g)</b>	<b>% Retido</b>	<b>Soma %</b>
2	0,03	0,30	0,30
0,5	0,02	0,20	0,50
0,25	0,26	2,60	3,10
0,063	0,01	0,07	3,19
0,043	0,53	5,33	8,52
0,036	0,80	8,04	16,56
0,028	1,66	16,59	33,15
0,020	2,11	21,13	54,28
0,010	2,83	28,26	82,54
0,006	0,78	7,76	90,30
0,003	0,48	4,78	95,08
0,001	0,36	3,61	98,69
Fundo	0,13	1,31	100
Total	9,87	98,69	
Inicial	10,00g	100,00	

A análise de DRX e FRX para o *dregs* indicou a presença de uma mistura de compostos de cálcio (37,0%), sódio (8,1%), enxofre (4,7%), ferro (3,5%), silício (1,7%), manganês (1,4%) e magnésio (1,1%), como mostra a TABELA 18. A percentagem da Perda ao fogo (PF) foi 40,93%.

TABELA 18 – RESULTADOS DA FRX PARA O DREGS

Componentes	(%)
CaO	37,0
Na <sub>2</sub> O	8,1
SO <sub>3</sub>	4,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,5
SiO <sub>2</sub>	1,7
MnO	1,4
MgO	1,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,9
SrO	0,2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2
K <sub>2</sub> O	0,2
ZnO	< 0,1
TiO <sub>2</sub>	< 0,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 0,1
NiO	< 0,1
Cl	< 0,1
PF	40,93

Na FIGURA 38 é apresentada a caracterização mineralógica do *dregs* a partir da análise de DRX, com a presença de picos de calcita, hidromagnesita e nitromagnesita (TABELA 19).

FIGURA 38 – DIFRATOGRAMA DO DREGS

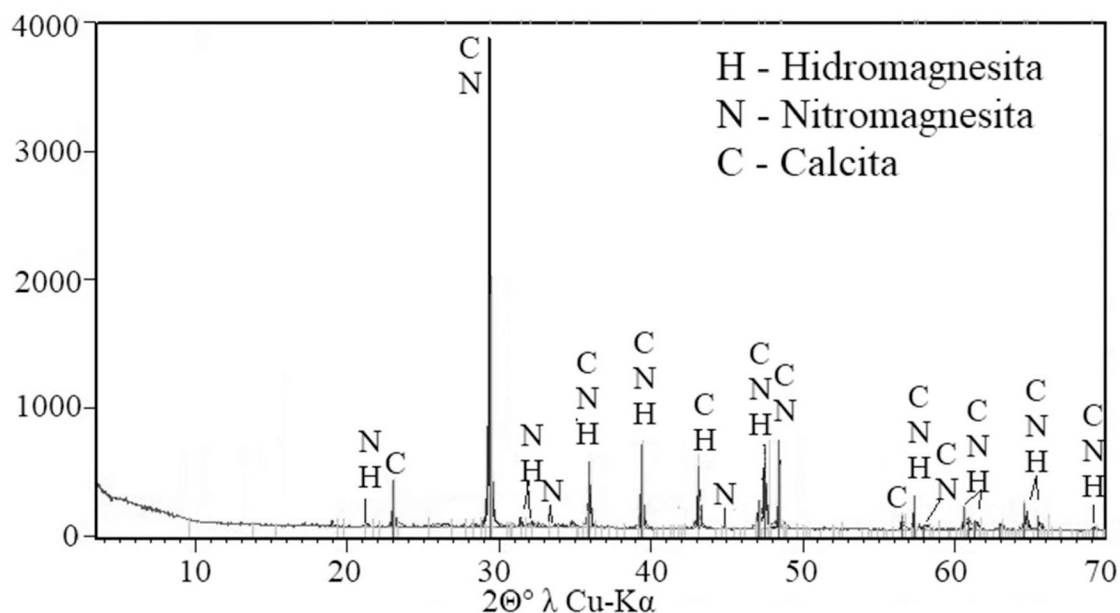


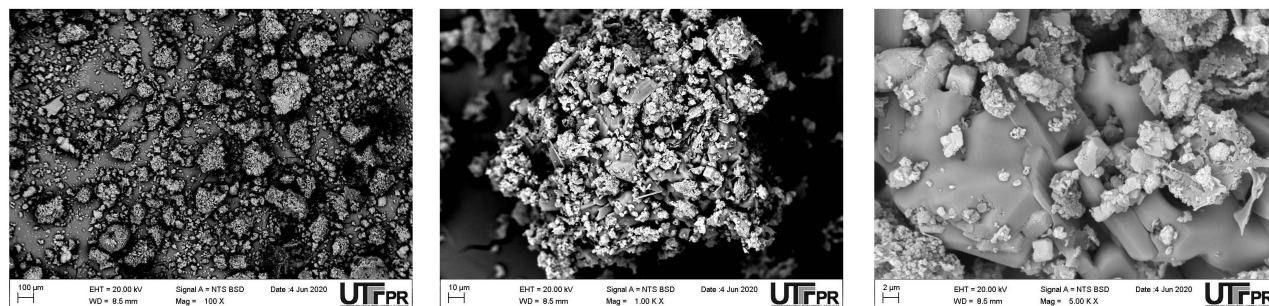
TABELA 19 – RESULTADOS DA DRX PARA O DREGS

Código	Nome do composto	Fórmula Química
C	Calcita	$\text{CaCO}_3$
H	Hidromagnesita	$\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4$
N	Nitromagnesita	$(\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6)(\text{NO}_3)_2$

A análise de MEV para o *dregs* indicou a estrutura morfológica do resíduo do Clarificador de Licor Verde conforme apresentado na FIGURA 39. São visíveis as destruições da superfície da partícula de *dregs*, resultante do tratamento térmico do Licor Preto em caldeira de recuperação, para geração de energia e recuperação de reagentes químicos do Digestor, processo este que antecede ao clareamento do Licor Verde.



FIGURA 39 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DOS DREGS



A micrografia da FIGURA 40 indica os pontos onde foi realizada a microanálise química de EDS, seus resultados estão apresentados na TABELA 20 e na FIGURA 41.

FIGURA 40 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DO DREGS

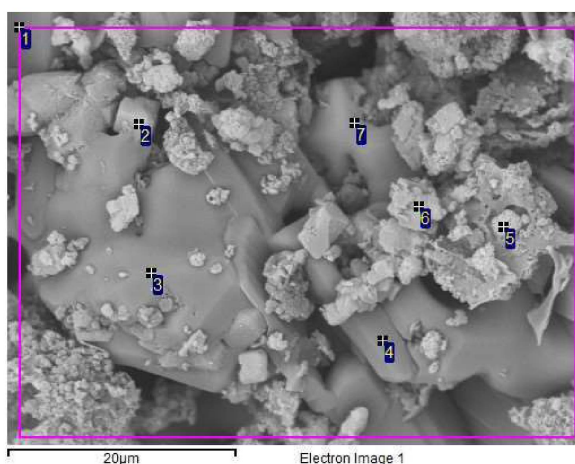
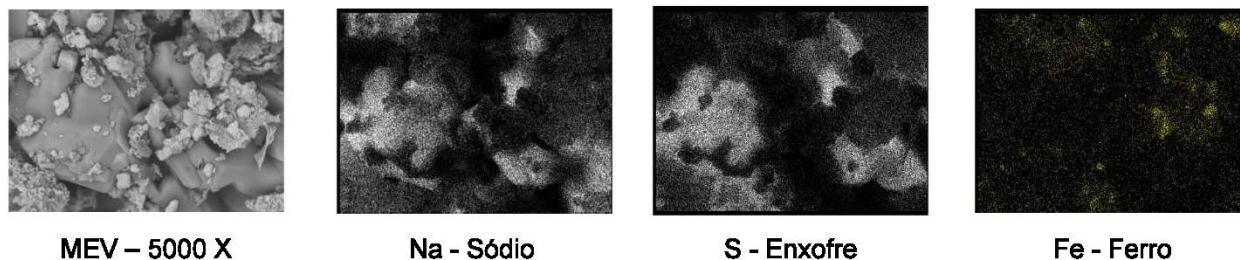


TABELA 20 – ANÁLISE ATÔMICA DO DREGS PELO MÉTODO EDS

Composição atômica de pontos da amostra, por % de peso											
Espectro	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Total
Ponto 1	36,18	2,42	1,67	2,37	25,56		24,86	1,88	3,75	1,32	100,0
Ponto 2	16,80	1,89	1,39				73,38	2,12	2,89	1,53	100,0
Ponto 3	41,49				52,41		6,10				100,0
Ponto 4	77,89				17,50		4,61				100,0
Ponto 5	27,77	7,39	2,86	6,19	8,63	1,19	3,44	12,92	28,32	1,29	100,0
Ponto 6	8,96	2,86	1,29	2,45			79,92	1,61	1,71	1,19	100,0
Ponto 7	15,35	1,27	1,04	1,60	56,63		16,37	1,70	3,18	2,86	100,0
Máximo	77,89	7,39	2,86	6,19	56,63	1,19	79,92	12,92	28,32	2,86	
Mínimo	8,96	1,27	1,04	1,60	8,63	1,19	3,44	1,61	1,71	1,19	



FIGURA 41 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DO DREGS



A análise de EDS e mapeamento dos elementos químicos confirma a determinação preliminar da existência de cálcio e sódio como elementos preponderantes, o que já havia sido verificado na análise de FRX (37,0% de CaO e 8,1% de Na<sub>2</sub>O). Além disso há traços de magnésio, ferro, manganês e enxofre.

#### 4.1.5 Grits

O *grits* apresenta coloração clara, entre branco e cinza, provavelmente atribuída à calcinação da cal, processo que antecede ao apagamento, ou hidratação, onde este resíduo é gerado. De acordo com a análise de composição granulométrica, o *grits* apresenta tanto fração de agregado graúdo como de miúdo, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009), com maior concentração na peneira com 4,00 mm de abertura (TABELA 21).

TABELA 21 – COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DO GRITS

<b>Abertura (mm)</b>	<b>Retido (g)</b>	<b>% Retido</b>	<b>Soma %</b>
4,00	6,07	20,23	20,23
2,00	3,93	13,10	33,33
1,00	2,01	6,70	40,03
0,5	2,53	8,43	48,47
0,25	2,95	9,83	58,30
0,090	0,52	1,74	60,05
0,063	1,61	5,38	65,42
0,043	2,12	7,08	72,50
0,036	1,09	3,62	76,12
0,028	1,46	4,86	80,98
0,020	1,67	5,58	86,56
0,010	2,06	6,88	93,43
0,006	0,64	2,14	95,58
0,003	0,49	1,65	97,22
0,001	0,51	1,70	98,92
Fundo	0,32	1,08	100
Total	29,68	98,92	
Inicial	30,00g	100,00	

A análise de FRX para o *grits* indicou a presença de uma mistura de compostos de cálcio (53,9%), sódio (3,0%), silício (2,3%) e magnésio (1,2%) como mostra a TABELA 22. A percentagem da Perda ao fogo (PF) foi 37,34%.

TABELA 22 – RESULTADOS DA FRX PARA O GRITS

Componentes	(%)
CaO	53,9
Na <sub>2</sub> O	3,0
SiO <sub>2</sub>	2,3
MgO	1,2
SO <sub>3</sub>	0,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5
K <sub>2</sub> O	0,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3
SrO	0,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1
MnO	< 0,1
Cl	< 0,1
PF	37,34

Na FIGURA 42 é apresentada a caracterização mineralógica do *grits* a partir da análise de DRX, com a presença de picos de calcita, portlandita e quartzo. Na TABELA 23 está apresentada a legenda do difratograma de raios X do *grits*.

FIGURA 42 – DIFRATOGRAMA DO GRITS

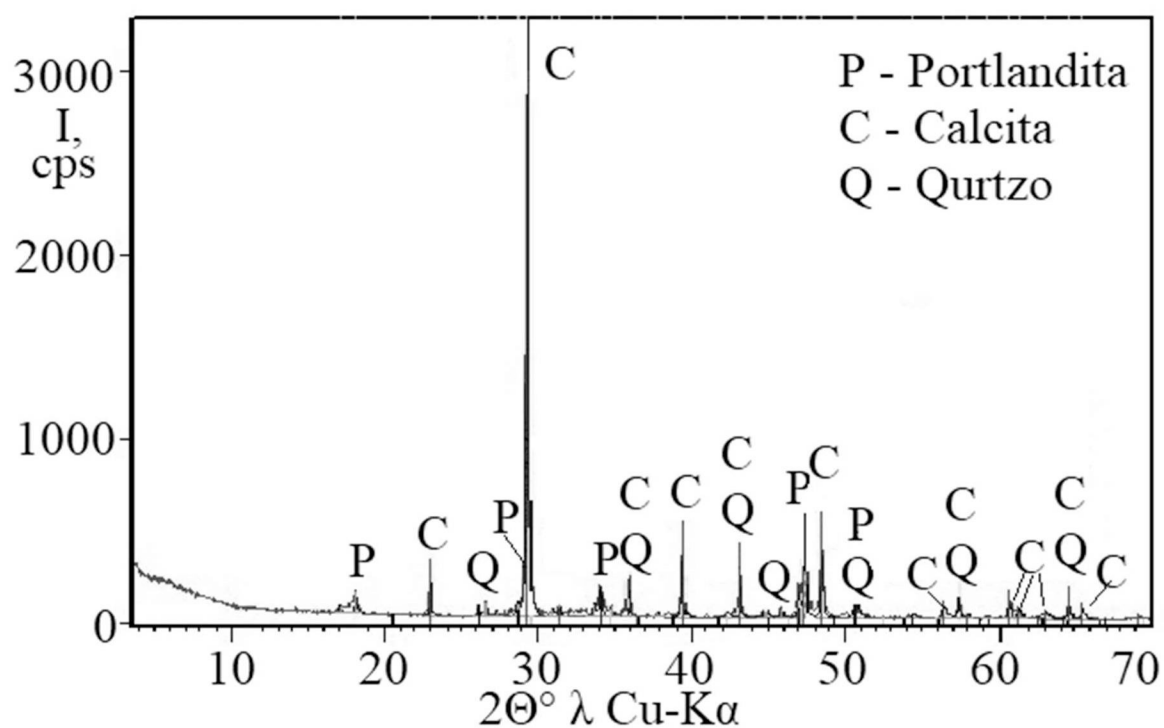
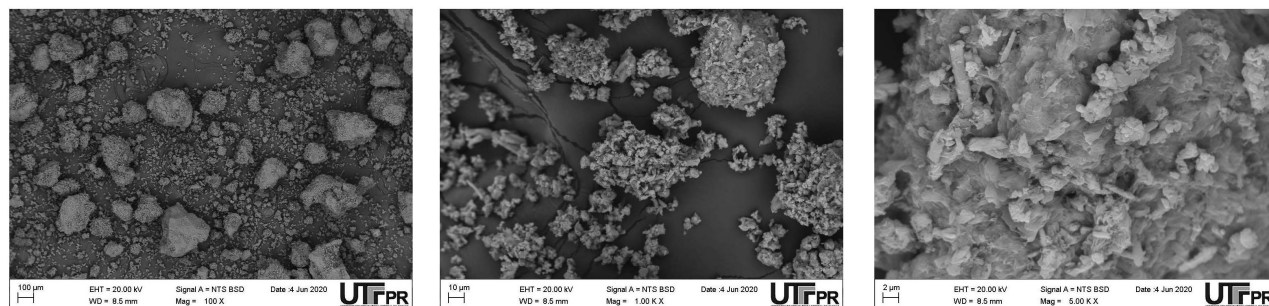


TABELA 23 – RESULTADOS DA DRX PARA O GRITS

Código	Nome do composto	Fórmula Química
C	Calcita	CaCO <sub>3</sub>
P	Portlandita	Ca(OH) <sub>2</sub>
Q	Quartzo	SiO <sub>2</sub>

A estrutura morfológica do resíduo o *grits*, foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura conforme FIGURA 43.

FIGURA 43 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DO GRITS



As partículas de *grits* analisadas apresentaram diferenças morfológicas se comparadas ao *dregs*, principalmente, por possuir maior variedade de dimensões, tamanhos e menor porosidade, que confirmam e se justificam pelos resultados das análises de granulometria integrada e massa específica aparente do material.

A micrografia da FIGURA 44 indica os pontos onde foi realizada a microanálise química de EDS, seus resultados estão apresentados na TABELA 24 e na FIGURA 45.

FIGURA 44 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DO GRITS

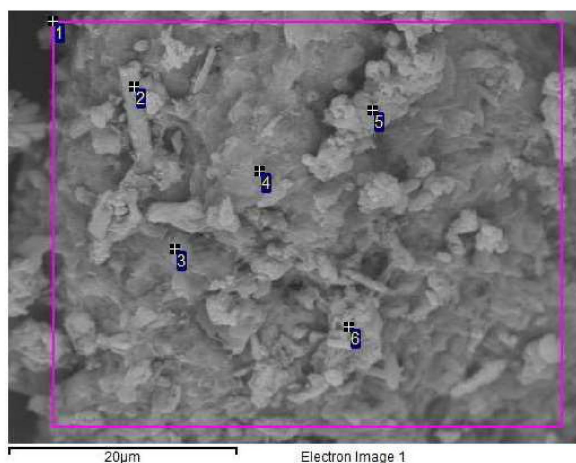
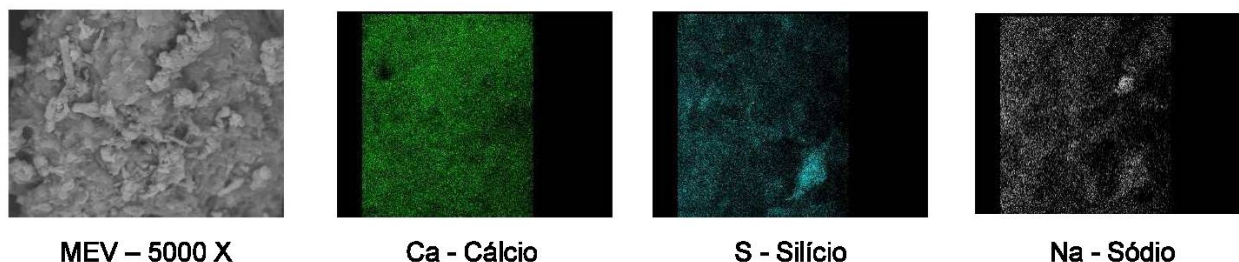


TABELA 24 – ANÁLISE ATÔMICA DOS GRITS PELO MÉTODO EDS

Composição atômica de pontos da amostra, por % de peso									
Espectro	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	W	Total
Ponto 1	4,30	1,48	1,05	7,71		0,82	84,64		100,0
Ponto 2	4,14	2,37	1,38	7,21		0,45	84,46		100,0
Ponto 3	4,80	0,79	1,23	8,31		0,82	77,45	6,60	100,0
Ponto 4	1,79	0,53	0,74	5,55		0,25	91,15		100,0
Ponto 5	2,81	1,21	0,91	2,44		0,56	92,08		100,0
Ponto 6	6,59	0,96	1,70	25,64	2,93	2,19	60,0		100,0
Máximo	6,59	2,37	1,70	25,64	2,93	2,19	92,08	6,60	
Mínimo	1,79	0,53	0,74	2,44	2,93	0,25	60,0	6,60	

FIGURA 45 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DO GRITS



Os pontos analisados apresentam os elementos atômicos encontrados na composição química do *grits*, como óxido de cálcio. Se destaca também a presença dos elementos de silício e sódio.

#### 4.1.6 Lama de cal

A lama de cal, que é o resíduo do licor branco e em sua análise granulométrica foi enquadrada como agregado miúdo, conforme especificações da (NBR 7211) (ABNT, 2009), no qual a maior concentração deste elemento se deu no laser com 0,010 mm, com o percentual retido de 33,29% da massa analisada. A análise de granulometria segue apresentada na TABELA 25.

TABELA 25 – COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA LAMA DE CAL

Abertura (mm)	Retido (g)	% Retido	Soma %
0,425	0,00	0,00	0,00
0,355	0,00	0,00	0,00
0,280	0,00	0,00	0,00
0,180	0,00	0,00	0,00
0,150	0,00	0,00	0,00
0,090	0,00	0,00	0,00
0,063	0,00	0,00	0,00
0,053	0,05	0,05	0,05
0,043	1,22	1,22	1,27
0,036	4,04	4,04	5,31
0,028	13,45	13,45	18,76
0,020	25,70	25,70	44,46
0,010	33,29	33,29	77,75
0,006	8,91	8,91	86,66
0,003	4,32	4,32	90,98
0,001	4,59	4,59	95,57
Fundo	4,43	4,43	100
Total	95,57	100,00	
Inicial	100,00g		

A análise de FRX para a lama de cal indicou a presença de uma mistura de compostos de cálcio, sódio e magnésio como mostra a TABELA 26. A percentagem da Perda ao fogo (PF) foi 43,52%.

TABELA 26 – RESULTADOS DA FRX PARA A LAMA DE CAL

Componentes	(%)
CaO	53,7
Na <sub>2</sub> O	0,9
MgO	0,8
SiO <sub>2</sub>	0,3
SO <sub>3</sub>	0,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1
SrO	0,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1
MnO	0,1
K <sub>2</sub> O	< 0,1
PF	43,52

Na FIGURA 46 e TABELA 27 é apresentada a caracterização mineralógica da lama de cal a partir da análise de DRX, com a presença de picos de calcita e modificação cristalão-química da calcita - aragonita com mesma fórmula mineralógica  $\text{CaCO}_3$  e com baixo teor de fase amorfa.

FIGURA 46 – DIFRATOGRAMA DA LAMA DE CAL

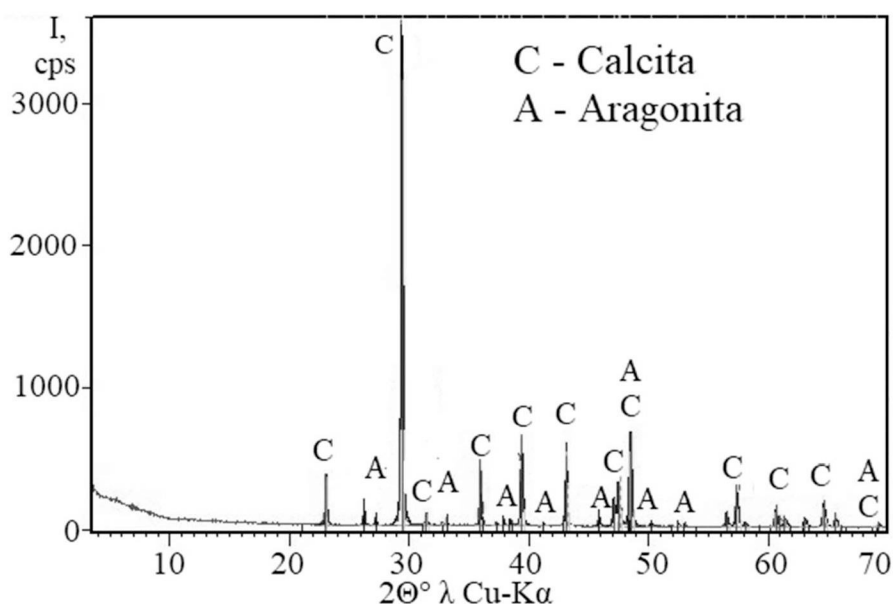


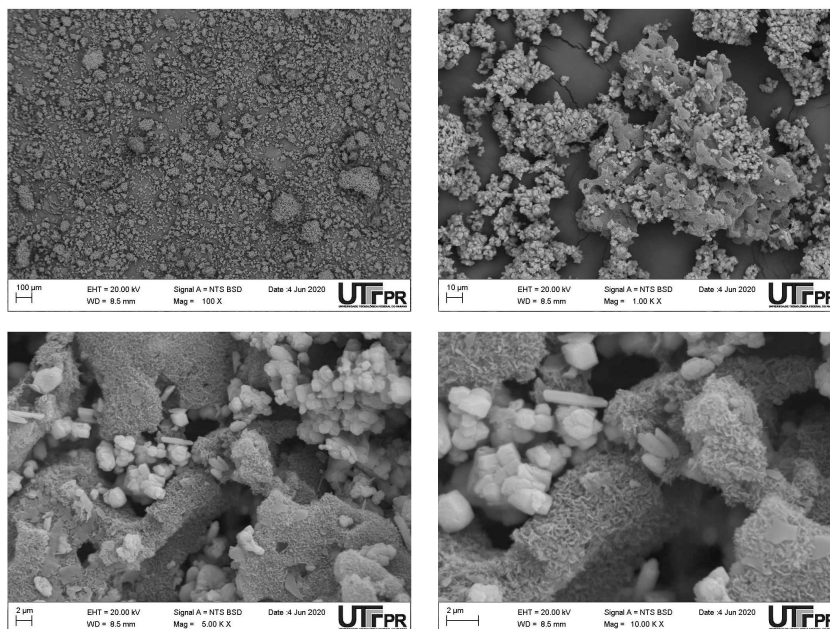
TABELA 27 – RESULTADOS DA DRX PARA A LAMA DE CAL

Código	Nome do composto	Fórmula Química
C	Calcita	$\text{CaCO}_3$
A	Aragonita	$\text{CaCO}_3$

Nas análises de MEV-EDS foi observada a composição morfológica da lama de cal (FIGURA 47), possibilitando visualização da superfície da partícula.



FIGURA 47 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA LAMA DE CAL



As partículas da lama de cal analisadas na MEV apresentaram diferenças morfológicas se comparadas ao *dregs* e ao *grits*, principalmente, por possuir em menor variedade de dimensões e tamanhos.

A micrografia da FIGURA 48 indica os pontos onde foi realizada a microanálise química de EDS, seus resultados estão apresentados na TABELA 28 e na FIGURA 49.

FIGURA 48 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DA LAMA DE CAL

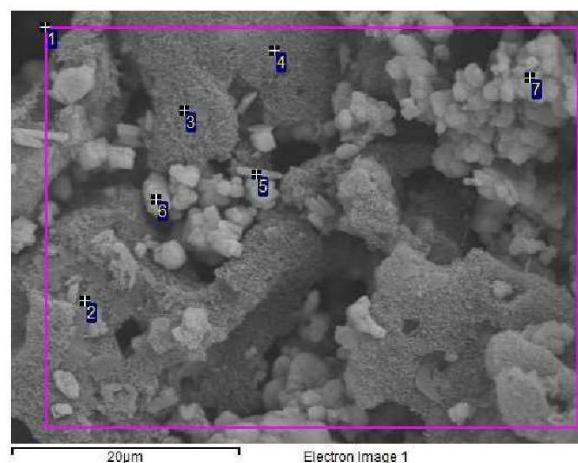
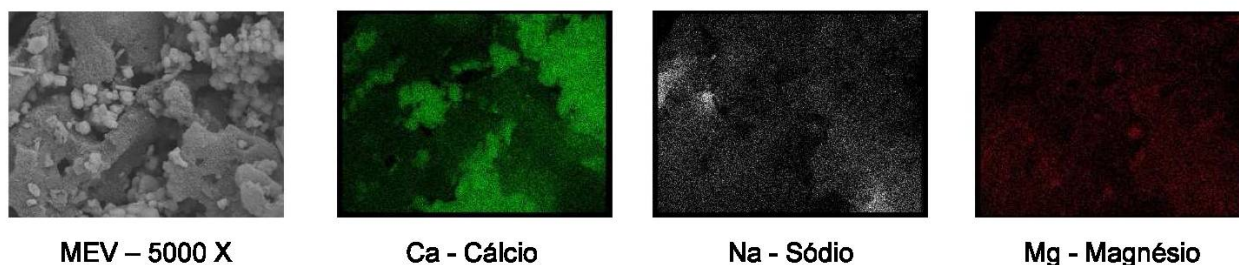


TABELA 28 – ANÁLISE ATÔMICA DA LAMA DE CAL PELO MÉTODO EDS

Composição atômica de pontos da amostra, por % de peso									
Espectro	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Total
Ponto 1	14,50	7,30	1,42	3,88	4,36		68,55		100,0
Ponto 2	24,30	16,20	3,26	8,82		0,96	45,14	1,32	100,0
Ponto 3	26,76	13,58	2,94	7,41	10,28	0,89	38,15		100,0
Ponto 4	14,11	11,05	2,42	6,12			64,84	1,45	100,0
Ponto 5	7,97	4,86	1,37	2,96			82,83		100,0
Ponto 6	10,16	3,10	1,19	1,24			84,31		100,0
Ponto 7	4,77	1,54	0,87				92,82		100,0
Máximo	26,76	16,20	3,26	8,82	10,28	0,96	92,82	1,45	
Mínimo	4,77	1,54	0,87	1,24	4,36	0,89	38,15	1,32	

FIGURA 49 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DA LAMA DE CAL



Quanto a composição analisada por meio de EDS, confirmam a presença predominante dos elementos atômicos de óxido de cálcio como evidenciado na análise de FRX (53,7%). Sódio, enxofre e magnésio também foram encontradas em altas concentrações no mapeamento elementar da lama de cal.

#### 4.1.7 Resíduo da Produção de Cal (RPC)

A cal utilizada para os corpos de prova foi analisada por FRX e os resultados indicam que ela não é pura, pois é constituída pela mistura de óxido de cálcio, óxido de magnésio (periclase), dolomita, portlandita e quartzo, conforme apresentado na TABELA 29. A cal fornecida não é hidratada e sua percentagem da Perda ao fogo (PF) foi de 12,37%. Esta alta perda ao fogo confirma alto teor de água e CO<sub>2</sub> nos carbonatos mal queimados.

TABELA 29 – RESULTADOS DA FRX PARA O RPC

Componentes	(%)
CaO	55,3
MgO	29,5
SiO <sub>2</sub>	2,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2
K <sub>2</sub> O	< 0,1
MnO	< 0,1
SO <sub>3</sub>	< 0,1
SrO	< 0,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 0,1
PF	12,37

Na FIGURA 50 é apresentada a caracterização mineralógica da lama de cal a partir da análise de DRX, com a presença de picos de óxido de cálcio, portlandita, calcita, dolomita, quartzo e periclase (TABELA 30).

FIGURA 50 – DIFRATOGRAMA DO RPC

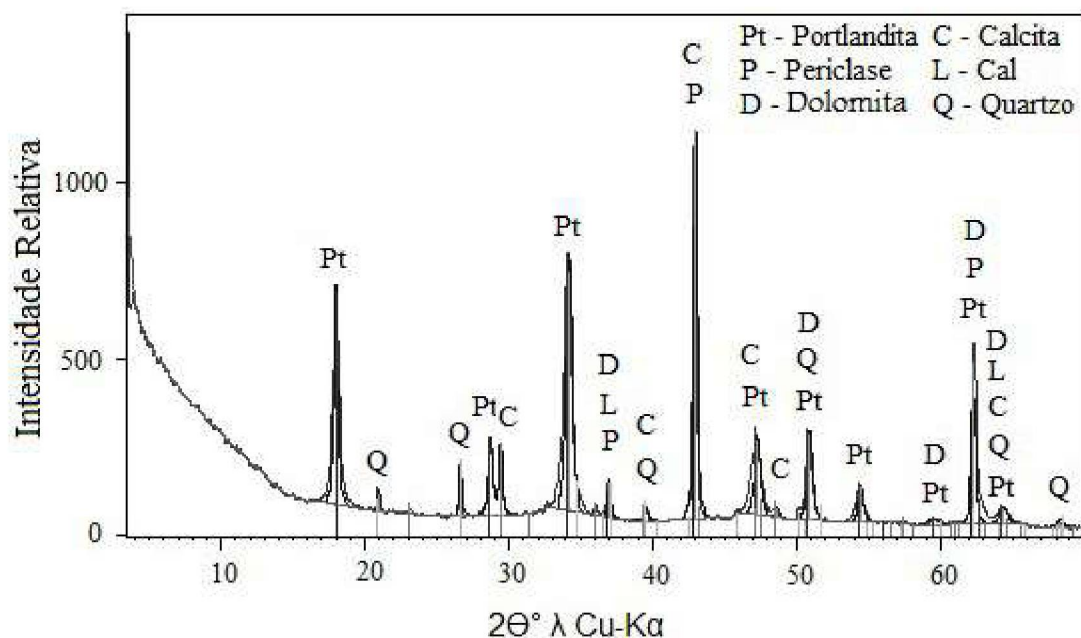
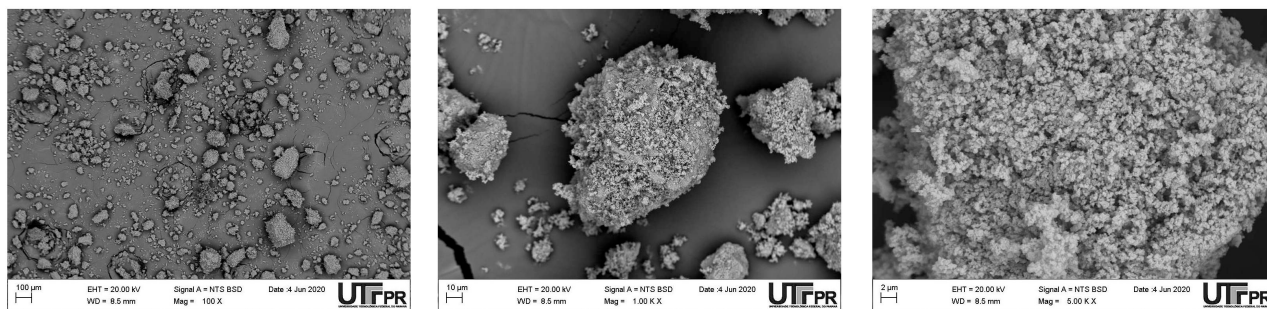


TABELA 30 – RESULTADOS DA DRX PARA O RPC

Código	Nome do composto	Fórmula Química
O	Óxido de cálcio	CaO
C	Calcita	CaCO <sub>3</sub>
P	Periclase	MgO
Pt	Portlandita	Ca(OH) <sub>2</sub>
Q	Quartzo	SiO <sub>2</sub>
D	Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>

Na FIGURA 51 são apresentadas as estruturas morfológicas do RPC, pesquisadas a partir do método MEV.

FIGURA 51 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DO RPC



É possível observar na FIGURA 52 partículas de diferentes tamanhos e que não possuem nenhuma ligação química entre si. A micrografia do meio se trata de uma partícula com superfície lisa com algumas trincas. Também é possível observar uma superfície ainda lisa com impurezas que podem ser o pó oriundo do rompimento da partícula, bem como poucas elevações e uma considerável rede de poros irregulares.

A micrografia da FIGURA 52 indica os pontos onde foi realizada a microanálise química de EDS, seus resultados estão apresentados na TABELA 31 e na FIGURA 53.

FIGURA 52 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DO RPC

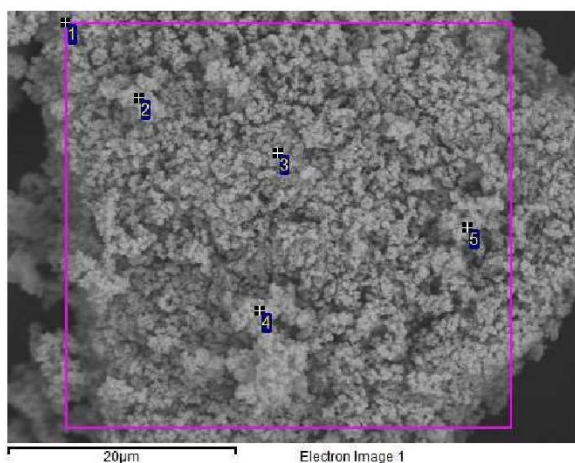
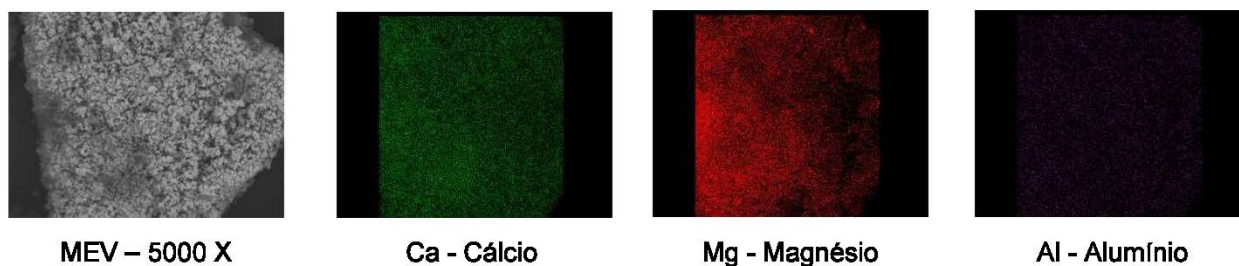


TABELA 31 – ANÁLISE ATÔMICA DO RPC PELO MÉTODO EDS

<b>Composição atômica de pontos da amostra, por % de peso</b>				
<b>Espectro</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>Ca</b>	<b>Total</b>
Ponto 1	38,51	0,76	60,73	100,0
Ponto 2	43,93	0,63	55,44	100,0
Ponto 3	35,53	1,05	63,42	100,0
Ponto 4	38,49	0,66	60,85	100,0
Ponto 7	32,80	0,91	66,29	100,0
Máximo	43,93	1,05	66,29	
Mínimo	32,80	0,63	55,44	

FIGURA 53 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DO RPC



Com base TABELA 31 e na FIGURA 53, foi possível identificar a inexistência de formas cristalinas pela alta variação da composição química nos diferentes pontos. Além disso, trata-se de uma amostra amorfa, visto que há grande percentagem dos elementos de cálcio e magnésio que constituem a amostra. Pode-se ainda identificar a presença de alumínio que é considerado uma impureza no material.

#### 4.1.8 Resumo dos Resultados Analíticos da Caracterização dos resíduos

Os resultados obtidos de caracterização dos resíduos, quanto a perda ao fogo (PF), fluorescência de raios x (FRX) e difração de raios X (DRX) estão apresentados no QUADRO 5.

QUADRO 5 – CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS REFERENTE À PERDA AO FOGO, FRX E DRX

Indústria	Resíduos	Perda ao Fogo	FRX	DRX
MDF	Cinzas	3,45 %	SiO <sub>2</sub> – 45,0% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 18,1% CaO – 11,0% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 6,8% K <sub>2</sub> O – 5,1%	Quartzo – SiO <sub>2</sub> Hematita – Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Lodo físico-químico	85,48 %	CaO – 7,3% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 2,9%	Calcita – CaCO <sub>3</sub> Quartzo – SiO <sub>2</sub>
	Areia	11,63 %	SiO <sub>2</sub> – 52,3% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 12,6% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 7,8% CaO – 6,7% K <sub>2</sub> O – 2,6% MgO – 2,3%	Quartzo – SiO <sub>2</sub> Calcita – CaCO <sub>3</sub> Anortita – (Ca,Na) (Al, Si) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>
Celulose	Dregs	40,93 %	CaO – 37 % Na <sub>2</sub> O – 8,1% SO <sub>3</sub> – 4,5% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 3,5%	Calcita – CaCO <sub>3</sub> Hidromagnesita – Mg <sub>5</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> Nitromagnesita – (Mg(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> )(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Grits	37,34 %	CaO – 53,9 % Na <sub>2</sub> O – 3,0% SiO <sub>2</sub> – 2,3%	Calcita – CaCO <sub>3</sub> Portlandita – Ca(OH) <sub>2</sub> Quartzo – SiO <sub>2</sub>
	Lama de cal	43,52 %	CaO – 53,7% Na <sub>2</sub> O – 0,9%	Calcita – CaCO <sub>3</sub> Aragonita – CaCO <sub>3</sub>
Cal	RPC	12,37 %	CaO – 55,3% MgO – 29,5% SiO <sub>2</sub> – 2,1%	Óxido de cálcio – CaO Calcita – CaCO <sub>3</sub> Periclase – MgO Portlandita – Ca(OH) <sub>2</sub> Quartzo – SiO <sub>2</sub> Dolomita – CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>



Quanto maior o teor de PF maior a perda de massa e em geral espera-se o aumento da porosidade aparente, com possíveis deformações e surgimento de falhas e trincas no corpo de prova, bem como aumento na absorção de água (MINE, 2019). Benlalla et al. (2015) afirmam ainda outros possíveis comprometimentos de parâmetros críticos da qualidade do produto final, quando utilizados materiais de alto PF, como: redução da densidade, contração linear e redução da resistência mecânica do material. Porém esse problema pode ser contornado ajustando a composição dos corpos de prova por meio da incorporação de outros tipos de resíduos, com propriedades complementares (MONTEIRO et al., 2008; MYMRIN et al, 2017).

Nota-se que os maiores valores de PF evidenciados foram o do lodo físico-químico da indústria de painéis de MDF e dos resíduos de celulose (*dregs*, *grits* e lama de cal). Porém nas composições propostas foram adicionados outros resíduos a fim de verificar sua influência nas propriedades mecânicas do novo material formado. Além disso, a presença de carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ) verificados nas análises de DRX do lodo físico-químico e dos resíduos de celulose justificam seus altos valores de PF, visto que uma vez calcinado há eliminação do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). De acordo com Torres et al (2018), a perda ao fogo inclui os gases liberados após a decomposição/transformação de determinados componentes a  $1000^\circ\text{C}$  (carbonatos, perda de cristalinidade dos argilominerais liberando água a partir das hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ), matéria orgânica, sulfetos e sulfatos, principalmente).

Rodrigues et al. (2016) obtiveram resultados semelhantes com perda ao fogo para os *dregs* de 42,80% e no FRX resultou concentrações de CaO (32,60%),  $\text{Na}_2\text{O}$  (8,34%), MgO (5,85%) e  $\text{SiO}_2$  (3,01%). Da mesma forma os resultados são semelhantes para os *grits*, cujo FRX resultou concentrações de CaO (53,30%),  $\text{Na}_2\text{O}$  (1,10%), MgO (0,56%) e  $\text{SiO}_2$  (0,34%). E também para a lama de cal com resultados de FRX de concentrações de CaO (53,10%),  $\text{Na}_2\text{O}$  (1,70%), MgO (0,88%) e  $\text{SiO}_2$  (1,68%). O teor mais elevado de óxido de cálcio nos resíduos *grits* e na lama de cal é uma característica do processo, uma vez que são removidos após a etapa de caustificação, onde é adicionada cal para recuperação da soda cáustica.



Observa-se que o *dregs* possui maior concentração de impurezas, como o  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{SiO}_2$ . Isso ocorre devido ao *dregs* ser o primeiro resíduo a ser removido na etapa de recuperação de reagentes, fazendo com que os demais componentes sejam precipitados juntamente com o  $\text{CaCO}_3$ . Como são removidos em etapas posteriores do processo, o teor de impurezas nos *grits* e lama de cal é comumente inferior ao encontrado no *dregs* (RODRIGUES et al., 2016).

Os óxidos de sódio, silício, alumínio, enxofre, magnésio e ferro presentes no *dregs* apresentam diversas procedências, tais como: sais de reposição ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), silicatos e aluminatos dos refratários da caldeira de recuperação, corrosão do digestor e partículas de combustão incompleta (MARTINS, 2007).

A análise mineralógica sugere que os três resíduos de celulose (*dregs*, *grits* e lama de cal) analisados possuem potencial para serem utilizados como matéria-prima alternativa para o cimento, dado que o  $\text{CaCO}_3$  é o componente encontrado em maior proporção na fabricação do cimento (AMARAL, 2013). Entretanto, de acordo com Rodrigues et al. (2016), a elevada perda ao fogo indica que a utilização desse material em formulações de produtos cerâmicos sinterizados deve ser limitada, a fim de que não seja prejudicada a resistência mecânica, em função do aumento na porosidade. Entretanto, no presente estudo foi avaliado sua influência sobre material com características de concreto.

Para Rodrigues et al. (2016) os dados de difração de raios X comprovam os resultados da análise química, a qual mostrou que o  $\text{CaO}$  é o componente presente em maior teor no *dregs*, *grits* e lama de cal. Os demais componentes presentes nos resíduos não formaram fases cristalinas, não sendo, portanto, identificados nos difratogramas. A lignina, possivelmente presente no *dregs*, por ser um polímero amorfo, também não é identificada na difração por raios X.

A respeito dos resíduos da produção de painéis de MDF, principalmente referente as cinzas provindas da queima da madeira, a presença de óxido de silício é comum, de acordo Gluitz e Marafão (2013). Além disso, a presença de  $\text{SiO}_2$  evidencia resultados clássicos característicos de uma estrutura cristalina (quartzo). A análise do lodo físico-químico proveniente do tratamento de efluentes da indústria apresentou, pela DRX, a presença mineralógica de calcite e quartzo. Enquanto 50% da composição da areia era quartzo, evidenciado pela presença de óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ).

A caracterização do RPC está de acordo com o apresentado por Silva (2014), o qual obteve como composição química do RPC o óxido de cálcio não hidratado ( $\text{CaO}$ ), hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), restos de carbonato de cálcio e magnésio não queimados ( $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ ), óxido de magnésio não hidratado ( $\text{MgO}$ ) e traços de óxidos  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Os resíduos da produção de cal podem ser utilizados como material na construção civil, porém ressalta-se que há perda da reatividade ao longo do tempo, daí a recomendação de emprego logo após a produção, evitando-se o armazenamento prolongado. O aproveitamento da cal residual como aglomerante depende das suas características a serem determinadas em laboratório, tomando-se como referência os requisitos e critérios da especificação para a cal industrial (SILVA, 2014). Cabe destacar que a utilização do RPC foi baseada em dois itens: suas propriedades aglomerantes e sua disponibilidade em grande quantidade; além, é claro, de minimizar seu impacto junto ao meio ambiente por meio de sua reutilização.

#### 4.2 CONFECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para cada uma das composições estabelecidas na TABELA 3 foram confeccionadas 175 peças. As idades a serem trabalhadas foram de 3, 7, 14, 28 e 365 dias, perfazendo corpos de prova nas dimensões aproximadas de 20 mm x 20 mm (FIGURA 54).

FIGURA 54 – CORPOS DE PROVA CONFECCIONADOS



FONTE: A autora (2020)

Porém, logo no segundo dia após sua confecção, foram evidenciadas ranhuras nos corpos de prova o que indica que possivelmente a resistência deles não seria satisfatória, visto já estar desmanchando logo no início (FIGURA 55). Porém uma vez que já confeccionados optou-se por manter as análises pré-estabelecidas com os CPs e posteriormente alterar as composições dos compósitos e requeimar a cinza visto que provavelmente as ranhuras eram devido à presença de matéria orgânica no meio.

FIGURA 55 – CORPOS DE PROVA CONFECCIONADOS COM RANHURAS



FONTE: A autora (2020)

#### 4.2.1 Dilatação e Resistência à compressão uniaxial com cinza “in natura”

A TABELA 32 e o FIGURA 56 apresentam os resultados da dilatação, a qual foi verificada por meio de paquímetro digital para todas as composições estudadas, esta análise foi realizada em triplicata nos CPs com 90 dias de idade. Partindo que no início todos eles possuíam o diâmetro de 20 mm.

TABELA 32 – DILATAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM RANHURAS COM 90 DIAS

Nº	MDF (%)			RPC	CEL <sup>(a)</sup> (%) MIX	Diâmetro após 90 dias (mm)	Dilatação (%)
	CINZA	LODO	AREIA				
1	37	10	3	20	30	20,61 ± 0,03	3,05
2	37	10	3	30	20	20,55 ± 0,02	2,75
3	37	10	3	25	2	20,57 ± 0,02	2,85
4	37	10	3	35	15	20,52 ± 0,04	2,60
5	37	10	3	15	35	20,78 ± 0,04	3,09
6	45	15	20	20	0	20,42 ± 0,02	2,10
7	40	40	0	20	0	20,47 ± 0,04	2,35

Nota: <sup>(a)</sup> Celulose

FIGURA 56 – DILATAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA



FONTE: A autora (2020)

Verificou-se que as dilatações dos corpos de prova não foram significativas variando de 2,10 a 3,09 mm. A dilatação inicial é provocada pela água contida nos resíduos, a dilatação aumenta durante a reação interna dos materiais, após passar alguns dias de cura a perda de água para o ambiente ocorre, diminuindo assim, o poder de hidratação (PEDROSO et al, 2017).

Nestas composições a análise estatística ANOVA indicou que as variações entre as dilatações medidas não foram significativas ( $p > 0,05$ ).

Apesar das rachaduras, foram realizadas também as análises de resistência à compressão uniaxial e estudado da participação das cinzas na degradação, visto a possibilidade de conter muita matéria orgânica.

Os ensaios de resistência à compressão uniaxial foram realizados conforme a NBR 5.739 (ABNT, 2007), com equipamento da marca EMIc, que comprimiu os corpos de prova a 2 mm/min. por meio do software Tesc foram observados: a força máxima em newton (n), a tensão em Megapascal (MPa), onde se obteve os valores de resistência à compressão das amostras.

Na TABELA 33 são apresentadas as resistências à compressão uniaxial dos compósitos desenvolvidos.

TABELA 33 – ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL DOS CORPOS DE PROVA COM RANHURAS

Nº	MDF (%)			RPC	CEL <sup>(a)</sup> (%) MIX	Valor médio de resistência após ____ dias (MPa)				
	CINZA	LODO	AREIA			3	7	14	28	365
1	37	10	3	20	30	0,67 ± 0,28	3,59 ± 0,48	4,25 ± 0,30	4,50 ± 0,28	6,54 ± 0,46
2	37	10	3	30	20	1,14 ± 0,89	4,20 ± 0,29	4,89 ± 0,11	5,33 ± 0,32	6,22 ± 0,32
3	37	10	3	25	25	0,91 ± 0,60	4,12 ± 0,16	4,35 ± 0,17	4,60 ± 0,25	6,59 ± 0,27
4	37	10	3	35	15	1,19 ± 0,54	4,28 ± 0,52	5,36 ± 0,24	5,88 ± 0,36	6,35 ± 0,11
5	37	10	3	15	35	0,41 ± 0,35	3,17 ± 0,46	4,24 ± 0,15	4,46 ± 0,48	6,58 ± 0,15
6	45	15	20	20	0	1,55 ± 0,28	6,02 ± 0,22	6,36 ± 0,23	6,84 ± 0,37	7,82 ± 0,32
7	40	40	0	20	0	5,25 ± 0,89	6,13 ± 0,72	6,74 ± 0,44	6,96 ± 0,97	8,37 ± 0,25

**Nota:** (a) Celulose

As normas classificam os resíduos da seguinte maneira:

- NBR 7.170:1983 - Tijolos maciços: Classe A > 1,5 MPa, Classe B > 2,5 MPa e Classe C > 4,0 MPa
- NBR 6.136:2006 - Blocos de concreto para vedação: Classe A ≥ 2,0 MPa, Classe B ≥ 3,0 MPa, Classe C ≥ 4,0 MPa e Classe D ≥ 6,0 MPa

Outro fator interessante é que quanto maior a dilatação menor será a resistência do material em suportar determinadas pressões de acordo com a NBR 5.739 (ABNT, 2007). Fato este verificado na TABELA 33 em que as composições 6 e 7 apresentaram menor dilatação e consequente maior resistência na TABELA 34.

Na FIGURA 57 é apresentado um CP após passar pelo teste de resistência.

FIGURA 57 – CORPO DE PROVA APÓS TESTE DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL

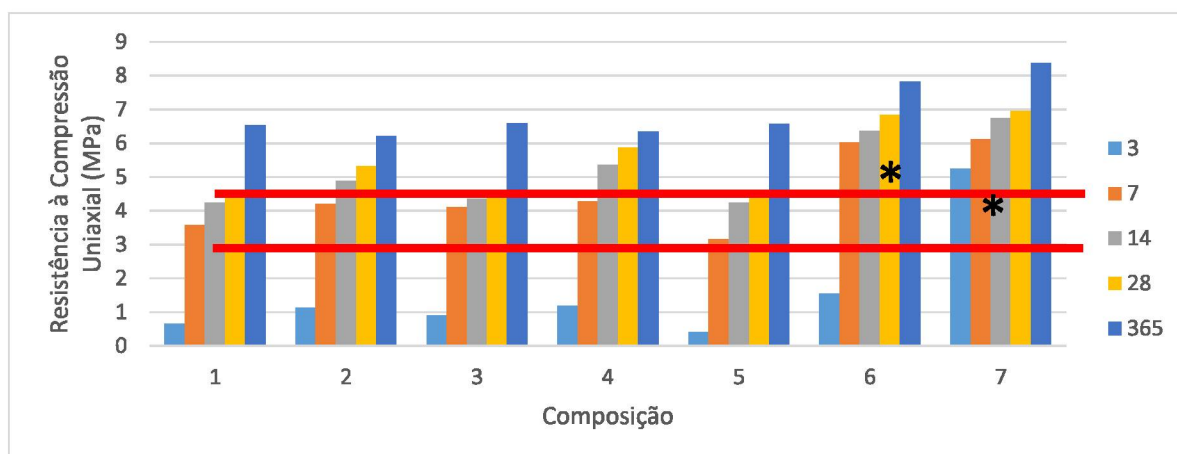


FONTE: A autora (2020)



Para facilitar a visualização dos resultados da TABELA 34 foi realizado o FIGURA 58.

FIGURA 58 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAIXIAL DOS CORPOS DE PROVA



FONTE: A autora (2020)

**Nota:**

O asterisco (\*) indica um aumento da resistência significativa ( $p < 0,05$ )

As normas classificam os resíduos da seguinte maneira:

- NBR 7.170:1983 - Tijolos maciços: Classe A  $> 1,5$  MPa, Classe B  $> 2,5$  MPa e Classe C  $> 4,0$  MPa
- NBR 6.136:2006 - Blocos de concreto para vedação: Classe A  $\geq 2,0$  MPa, Classe B  $\geq 3,0$  MPa, Classe C  $\geq 4,0$  MPa e Classe D  $\geq 6,0$  MPa

Os resultados comprovaram que as resistências iniciais (3 dias de cura) estavam muito baixas se comparadas com as evidenciadas na literatura que utilizam tais resíduos (MYMRINE et al, 2016; Pedroso et al, 2017). Como já se havia sido suposto a diminuição das resistências possivelmente seria devido às rachaduras presentes nos corpos de prova.

Como esperado, as resistências à compressão uniaxial dos corpos de prova foram aumentando ao longo das idades de rompimento. A resistência à compressão está diretamente relacionada à sua estrutura interna e com estes valores pode-se verificar seu respectivo desempenho mecânico e consequente durabilidade. Isso se deve ao fato de que com o passar do tempo ocorre uma maior interação química dos componentes, reduzindo o volume de espaços vazios que deixavam o material mais frágil. Assim, há formação de novas estruturas cristalinas que aumentam a resistência do material (MYMRIN et al.,

2014). Quanto à composição química, sabe-se que os constituintes  $C_3S$  - alita ( $3CaO.SiO_2$  – silicato tri-cálcio) e a  $C_2S$  - belita ( $2CaO.SiO_2$  – silicato di-cálcio) são os mais diretamente responsáveis pelo crescimento da resistência (SILVA, 2014).

A análise estatística ANOVA indicou que a significância de variação ( $p < 0,05$ ) de resistência à compressão uniaxial está na composição 7 aos 3 dias de cura, na composição 6 e 7 aos 7 dias de cura, pois estão com valor acima das evidenciadas nas demais.

Mymrin et al. (2016) em seu trabalho utilizando lodo físico-químico de uma indústria de tintas e impressão de papéis decorativos e cinza da queima de madeira, juntamente com resíduo da construção de cal (RPC), alcançaram valores de resistências à compressão uniaxial de até 7,28 MPa, na idade de 90 dias. As análises, por hora, foram realizadas até os 28 dias de cura, mas devido ao crescimento das resistências evidenciado neste estudo existe a possibilidade de se alcançar valores como este na referida idade.

Pedroso et al. (2017) também realizaram testes de resistência uniaxial com compósitos formados a partir de resíduos de celulose e cal juntamente com resíduos de construção. Eles obtiveram resistências similares às obtidas nesse estudo, variando entre 1,65 a 5,97 MPa após 28 dias de cura de acordo com a proporção de resíduos utilizada.

Na presença de resíduos de celulose (composições nº 1 a 5) a melhor resistência verificada, aos 28 dias de cura, foi a composição nº 4, com 35% de RPC e 15% do mix de celulose. A cal auxilia na formação de novas estruturas químicas e mineralógicas, devido ao seu caráter aglomerante (SILVA, 2014). Por isso foi verificado um aumento progressivo das resistências dos compósitos conforme maior proporção de RPC na composição.

A respeito da areia notou-se que sua presença em maior quantidade (composição nº 6) apenas influenciou a resistência aos 3 primeiros dias iniciais após a confecção do corpo de prova (1,55 MPa), porém, posteriormente, a resistência do material aumentou, alcançando, inclusive, valores similares aos obtidos na ausência da areia (composição nº 7).

Com relação as normas passíveis de comparação de resistência existem a NBR 7.170 (ABNT, 1983) e a NBR 6.136 (ABNT, 2006). A norma NBR 7.170 (ABNT, 1983) classifica os tijolos maciços em três classes: Classe A > 1,5 MPa;

Classe B  $> 2,5$  MPa e; Classe C  $> 4,0$  MPa. E a norma NBR 6.136 (ABNT, 2006) regulamenta os critérios mínimos de utilização de blocos de concreto para vedação. A norma apresenta 4 classes de resistência: Classe A  $\geq 2,0$  MPa, Classe B  $\geq 3,0$  MPa, Classe C  $\geq 4,0$  MPa e classe D  $\geq 6,0$  MPa.

Verificou-se que aos 28 dias de cura os melhores resultados de resistência à compressão uniaxial foram das composições 6 e 7, cujos valores foram de 6,84 a 6,96 MPa. Estes valores os enquadraram na classe C da NBR 7.170 (ABNT, 1983) e classe D da NBR 6.136 (2006). Nota-se que a presença de resíduos de celulose nos corpos de prova resultou em menores valores de resistência.

Logo, os CPs com teores de resíduos de cerca entre 40% e 45 % em massa de resíduo de cinza, 20% de RPC e na ausência de resíduos de celulose resultaram em níveis de resistência mecânica apropriados para a finalidade de aplicação destes produtos na construção civil, além de possuírem baixo custo das matérias-primas (resíduos industriais) e aos grandes benefícios ambientais, por evitar uma possível disposição inadequada.

Quanto às rachaduras evidenciadas nos CPs supôs-se que fossem decorrentes da presença de madeira mal queimada nas cinzas o que justificaria a possível dilatação do material e com isso a ocorrência de rachaduras. Por isso, foi realizada análise de presença de matéria orgânica submetendo as cinzas à análise após 2h na mufla a  $1000^{\circ}\text{C}$ . Optou-se ainda por verificar apenas as vistas visto que a mesma está em maior proporção nas composições estudadas (TABELA 3).

No QUADRO 6 é apresentado o ensaio de perda ao fogo na mufla das cinzas coletas em diferentes datas a fim de verificar a redução de sua matéria orgânica (FIGURA 59).



QUADRO 6 – PESAGEM DA CINZA ANTES E APÓS CALCINAÇÃO EM MUFLA

Cinza	Peso Cadinho vazio (g)	Peso total (Cadinho com cinza) (Pt) (g)	Peso seco após mufla (Ps) (g)	Peso da água (Pa = Pt – Ps) (g)	Perda ao fogo em porcentagem (PF = 100. Pa/ Ps) (h%)	Média da perda ao fogo (PF%média)
<b>Cinza 1ª coleta</b>	10,89	12,89	11,71	1,18	10,08	10,65
	12,36	14,36	12,87	1,49	11,58	
	10	12	10,88	1,12	10,29	
<b>Cinza 2ª coleta</b>	11,56	13,56	12,43	1,13	9,09	8,58
	12,58	14,58	13,46	1,12	8,32	
	12,97	14,97	13,82	1,15	8,32	

FIGURA 59 – ASPECTO DA CINZA APÓS CALCINAÇÃO NA MUFLA



FONTE: A autora (2020)

Os resultados indicam que a cinza ainda possuía umidade e matéria orgânica mal queimada nas cinzas, visto a alteração da coloração do material, o que nos remeteu a necessidade de realizar novos ensaios, com a cinza após passagem da mufla, a fim de verificar se as ranhuras são decorrentes da presença de material degradável. A nova porcentagem da Perda ao Fogo (PF) foi de 3,45%, lembrando que a anterior foi de 11,04%, conforme laudos do LAMIR, apresentados nos Apêndices desta pesquisa.

Sendo assim, foram definidas novas 35 composições, com variação dos resíduos estudados agregado à cal residual (RPC), conforme apresentado na TABELA 35. A confecção dos corpos de prova (CP) foi realizada no Laboratório

de Cerâmica do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná (UFPR), campus Centro Politécnico.

#### *4.2.2 Resistência à compressão uniaxial com cinza requeimada*

Com as novas composições também foram realizadas análises de resistência à compressão uniaxial obedecendo à NBR 5.739 (ABNT, 2007), com equipamento da marca EMIc, que comprimiu os corpos de prova a 2 mm/min. por meio do software Tesc foram observados: a força máxima em newton (n), a tensão em megapascal (MPa), a partir do qual obteve-se os valores de resistência à compressão das amostras. Em cada composição e tempo de cura foi utilizado 5 CPs, e não apenas triplicata. Na TABELA 34 são apresentadas as resistências à compressão uniaxial dos compósitos desenvolvidos, utilizando resíduos da indústria de MDF junto com os resíduos da indústria de celulose (composições 1 a 5), bem como composições com apenas resíduos de MDF (composições 6 a 30). Na TABELA 35 são apresentados os resultados das resistências para corpos de prova contendo apenas resíduos de celulose e RPC (composições 31 a 35).

TABELA 34 – NOVAS COMPOSIÇÕES E ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL DOS CPS COM CINZA REQUEIMADA

Nº	MDF (%)		RPC	CEL <sup>(a)</sup> (%)	Valor médio de resistência após ____ dias (MPa)									
	CINZA	LODO			AREIA	MIX	3	7	14	28	60	90	180	365
MDF + CEL	1	37	10	3	20	30	3,18 ± 0,22	3,66 ± 0,53	4,37 ± 0,24	4,89 ± 0,23	5,33 ± 0,11	6,96 ± 0,14	7,14 ± 0,09	7,28 ± 0,35
	2	37	10	3	30	20	3,41± 0,38	4,79± 0,2	5,89 ± 0,34	6,92± 0,08	6,93± 0,06	6,94± 0,03	7,01± 0,09	7,12± 0,26
	3	37	10	3	25	25	3,14 ± 0,63	4,85 ± 0,38	5,22± 0,39	5,68 ± 0,25	5,82± 0,27	6,32± 0,28	6,45± 0,22	6,55± 0,32
	4	37	10	3	35	15	3,89± 0,39	4,33± 0,22	5,69± 0,12	6,20± 0,09	6,21± 0,12	6,27± 0,16	6,32± 0,43	6,93± 0,19
	5	37	10	3	15	35	3,48± 0,15	3,69± 0,45	4,90± 009	5,01 ± 0,26	6,12 ± 0,14	7,32± 0,22	7,58± 0,05	7,63± 0,12
MDF	6	45	15	20	20	0	6,76 ± 0,19	7,01± 0,83	7,94± 0,63	9,04± 0,09	9,14± 0,45	10,24± 0,22	10,37± 0,33	10,58± 0,29
	7	40	40	0	20	0	8,10± 0,66	10,64± 0,42	11,04 ± 0,19	11,12± 0,33	11,59 ± 0,25	11,89 ± 0,08	11,92± 0,08	11,93± 0,11
	8	30	30	20	20	0	7,86 ± 0,29	8,59± 0,25	8,66± 0,38	9,69± 0,27	12,2 ± 0,56	13,15± 0,28	13,86 ± 0,15	14,99± 0,25
	9	40	20	20	20	0	6,41± 0,29	6,77 ± 0,28	8,16± 0,11	8,36± 0,35	9,74± 0,25	10,13± 0,22	10,89± 0,38	11,54± 0,23
	10	35	20	25	20	0	6,34 ± 0,13	6,58± 0,99	8,92 ± 0,36	9,10± 0,09	9,16± 0,38	9,61± 0,62	11,98 ± 0,53	13,09± 0,18
	11	20	35	25	20	0	6,59± 0,19	6,72 ± 0,58	9,72± 0,52	10,83± 0,58	12,25 ± 0,31	13,59 ± 0,22	14,20 ± 0,36	15,32± 0,33
	12	25	25	25	25	0	5,12± 0,37	6,52± 0,25	7,69± 0,38	9,51 ± 0,45	10,02± 0,25	12,69± 0,17	13,35± 0,44	14,64± 0,23
	13	30	25	20	25	0	6,21± 0,25	6,66± 0,97	8,48± 0,22	8,85± 0,97	11,60 ± 0,14	12,32± 0,29	12,56± 0,78	14,32± 0,83
	14	25	30	20	25	0	4,62 ± 0,14	4,68± 0,74	5,65± 0,89	8,43± 0,24	11,27± 0,36	13,00± 0,35	14,37 ± 0,12	15,01± 0,22
	15	20	25	30	25	0	5,97± 0,36	7,11± 0,26	7,84± 0,22	8,93± 0,59	10,99± 0,47	11,60 ± 0,28	12,48± 0,45	13,38± 0,27
	16	25	20	30	25	0	4,51± 0,38	4,76 ± 0,83	6,61± 0,96	8,97± 0,38	9,42± 0,36	9,69 ± 0,37	10,69± 0,23	11,59± 0,38
	17	35	30	10	25	0	6,34 ± 0,22	7,43± 0,37	8,09± 0,34	8,13± 0,14	8,88± 0,02	8,98± 0,14	9,37± 0,09	10,67± 0,23
	18	30	30	10	30	0	6,44± 0,28	7,05± 0,15	7,15± 0,22	7,91± 0,99	10,86 ± 0,25	12,00 ± 0,22	13,89± 0,24	14,20 ± 0,25
	19	40	20	10	30	0	5,18± 0,12	5,44 ± 0,44	6,36± 0,24	6,58± 0,35	6,58± 0,04	6,64± 0,29	7,45± 0,25	8,35± 0,37
	20	30	20	20	30	0	4,50 ± 0,09	6,59± 0,49	7,58 ± 0,44	7,93± 0,98	10,51 ± 0,22	10,87± 0,38	11,28 ± 0,09	12,24± 0,31
	21	25	25	20	30	0	5,22± 0,62	6,20 ± 0,22	6,58 ± 0,32	8,45 ± 0,14	8,47± 0,23	9,41± 0,47	10,35± 0,17	11,48± 0,19
	22	25	20	25	30	0	4,40± 0,45	5,34± 0,41	5,81± 0,37	6,93± 0,03	6,93 ± 0,22	7,75 ± 0,35	8,56± 0,14	9,56± 0,02
	23	20	25	25	30	0	5,61 ± 0,23	6,84 ± 0,14	7,35± 0,56	8,45± 0,63	9,61± 0,22	9,78± 0,46	10,37 ± 0,08	11,20± 0,15
	24	20	20	20	30	0	6,43± 0,32	4,71± 0,24	6,52± 0,89	7,15 ± 0,11	7,25± 0,32	7,78± 0,42	8,28± 0,82	9,25± 0,18

N°	MDF (%)		RPC	CEL <sup>(a)</sup> (%)		Valor médio de resistência após ____ dias (MPa)							
	CINZA	LODO		AREIA	MIX	3	7	14	28	60	90	180	365
25	35	25	25	15	0	6,56±0,14	7,07±0,37	7,42±1,23	10,51±0,14	10,72 ± 0,29	11,08±0,73	12,36 ± 0,38	13,35±0,09
26	25	35	25	15	0	6,74 ± 0,78	9,22 ± 0,36	10,30±0,22	11,05 ± 0,25	12,00±0,09	12,02±1,25	13,65±1,48	14,95±0,27
27	30	30	25	15	0	6,38 ± 0,22	9,88±0,24	9,94 ± 0,35	9,95 ± 0,62	11,29±0,47	11,78 ± 0,14	12,82 ± 0,39	13,56±0,45
28	30	25	30	15	0	6,38 ± 0,36	6,84±0,09	9,00±0,66	9,92 ± 0,21	10,18 ± 0,36	10,63 ± 0,44	11,69 ± 0,29	12,89±0,37
29	25	25	35	15	0	6,57±0,33	6,92 ± 0,88	9,04 ± 0,21	9,45±0,96	11,63 ± 0,09	12,00 ± 0,22	12,25 ± 0,09	12,37 ± 0,26
30	30	20	35	15	0	7,13 ± 0,35	7,88 ± 0,24	8,09±0,34	9,60±0,47	10,38±0,31	11,27±0,36	11,59 ± 0,78	12,32 ± 0,24

**Nota: (a)** Celulose

As normas classificam os resíduos da seguinte maneira:

- NBR 7.170:1983 - Tijolos maciços: Classe A > 1,5 MPa, Classe B > 2,5 MPa e Classe C > 4,0 MPa
- NBR 6.136:2006 - Blocos de concreto para vedação: Classe A ≥ 2,0 MPa, Classe B ≥ 3,0 MPa, Classe C ≥ 4,0 MPa e Classe D ≥ 6,0 MPa

TABELA 35 – ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL DOS CORPOS DE PROVA COM RESÍDUOS DE CELULOSE

°	N°	CEL <sup>(a)</sup> (%)		RPC	Valor médio de resistência após ____ dias (MPa)								
		DREGS	GRITS		LAMA DE CAL	3	7	14	28	60	90	180	365
CEL	31	30	30	15	25	4,40 ± 0,42	5,09 ± 0,47	6,42 ± 0,24	10,13 ± 0,32	10,33 ± 0,12	10,34 ± 0,15	10,50 ± 0,45	11,23 ± 0,23
	32	30	25	20	25	5,65 ± 0,62	7,97 ± 0,21	8,81 ± 0,17	9,25 ± 0,47	10,28 ± 0,35	10,56 ± 0,10	10,78 ± 0,23	11,45 ± 0,14
	33	30	35	15	20	5,85 ± 0,38	6,12 ± 0,34	6,17 ± 0,45	6,45 ± 0,63	11,43 ± 0,37	12,12 ± 0,21	12,63 ± 0,21	13,23 ± 0,25
	34	0	45	30	25	4,58 ± 0,17	4,97 ± 0,42	5,38 ± 0,32	5,09 ± 0,28	5,68 ± 0,69	7,65 ± 0,56	9,28 ± 0,45	10,45 ± 0,17
	35	45	0	30	25	3,31 ± 0,21	4,42 ± 0,23	4,63 ± 0,62	6,28 ± 0,36	6,72 ± 0,23	8,85 ± 0,74	10,24 ± 0,23	11,42 ± 0,19

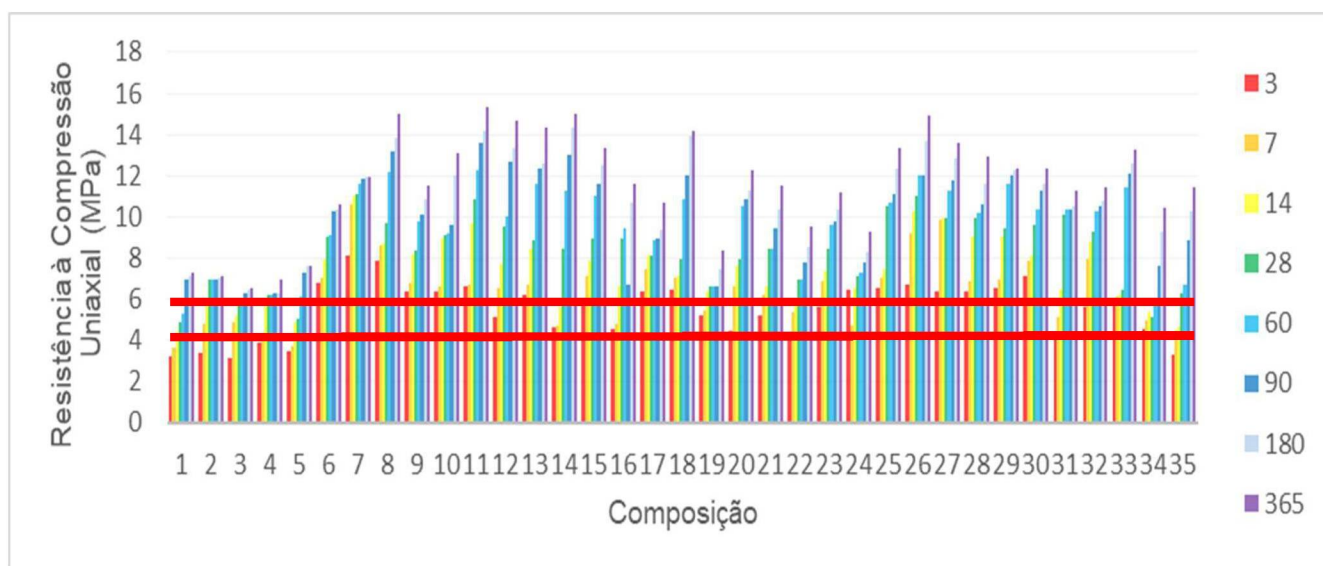
**Nota: (a)** Celulose

As normas classificam os resíduos da seguinte maneira:

- NBR 7.170:1983 - Tijolos maciços: Classe A > 1,5 MPa, Classe B > 2,5 MPa e Classe C > 4,0 MPa
- NBR 6.136:2006 - Blocos de concreto para vedação: Classe A ≥ 2,0 MPa, Classe B ≥ 3,0 MPa, Classe C ≥ 4,0 MPa e Classe D ≥ 6,0 MPa

As resistências observadas na TABELA 35 indicaram que requeimar as cinzas, e assim diminuir a presença de material orgânico respondeu positivamente para os valores de resistência se comparado aos valores apresentados na TABELA 34. Logo no início apresentou valores maiores e como esperado estes aumentaram ao longo do tempo de cura como evidenciado na FIGURA 60.

FIGURA 60 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAIXIAL DOS CORPOS DE PROVA COM CINZA REQUEIMADA



FONTE: A autora (2020)

**Nota:**

As normas classificam os resíduos da seguinte maneira:

- NBR 7.170:1983 - Tijolos maciços: Classe A > 1,5 MPa, Classe B > 2,5 MPa e Classe C > 4,0 MPa
- NBR 6.136:2006 - Blocos de concreto para vedação: Classe A  $\geq$  2,0 MPa, Classe B  $\geq$  3,0 MPa, Classe C  $\geq$  4,0 MPa e Classe D  $\geq$  6,0 MPa

A composição 5 que utilizada resíduos de MDF e de celulose foi a que apresentou maior resistência, alcançando o valor de 7,63 MPa aos 365 dias de cura. Já para as composições que utilizaram apenas os resíduos de MDF o destaque foi para a composição 11, a qual aos 365 dias de cura, obteve valor de 15,32 MPa de resistência à compressão uniaxial. Esta resistência de 15,32 MPa observada é interessante pois chega próximo do mínimo solicitado pela norma NBR 8953:2015 para concreto estrutural que define que aos 28 dias a resistência à compressão deve ser de 20 MPa (ABNT, 2015).

Desta forma, as composições selecionadas para uma análise físico-química e mineralógica mais aprofundada foram a de número 5 e 11. Estas, posteriormente, foram analisadas quanto a difração por raios X (DRX), Microscopia eletrônica de varredura e micro-análise química (MEV-EDS), Mapeamento de elementos químicos, resistência à água e absorção de água, e ensaios de lixiviação e de solubilização.

Dos CPs que continham apenas resíduos de celulose (composições de 31 a 35), a maior resistência à compressão uniaxial observada foi na composição 33, cujo máximo valor foi de 12,63 MPa. Já a composição 31 teve o valor máximo de resistência na ordem de 10,50 MPa. Essas composições têm os mesmos traços de *dregs* e lama de cal, e variaram em 5 % o traço de RPC para o *grits* da composição 31 para a 33.

Cabe ressaltar que apesar das composições 5 e 11 apresentarem maiores resistência para as composições com a mistura dos resíduos (MDF + Celulose) e apenas resíduos de MDF, vários compósitos atenderam as normas NBR 7.170 (ABNT, 1983) e NBR 6.136 (ABNT, 2006), tanto para tijolos maciços como de blocos de concreto para vedação. Sendo assim, para escolher qual composição seria mais vantajosa economicamente e que atenda a finalidade definida de uso pode-se utilizar a ferramenta EPIP para auxiliar a tomada de decisão (seção 4.3 deste estudo).

#### *4.2.3 Dilatação linear*

Na TABELA 36 e na FIGURA 61 são apresentados todos os resultados dos ensaios para a determinação da dilatação dos CPs com as cinzas requeimadas, as amostras foram analisadas com tempo de cura de 90 dias. A análise foi realizada em triplicata com paquímetro digital.

TABELA 36 – DILATAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM CINZA REQUEIMADA AOS 90 DIAS DE CURA

	Nº	Diâmetro após 90 dias (mm)	Dilatação (%)
MDF + CEL	1	20,63 ± 0,03	3,15
	2	20,61 ± 0,02	3,05
	3	20,62 ± 0,04	3,10
	4	20,53 ± 0,03	2,65
	5	20,65 ± 0,02	3,25
MDF	6	20,31 ± 0,02	1,55
	7	20,33 ± 0,03	1,65
	8	20,29 ± 0,02	1,45
	9	20,31 ± 0,05	1,53
	10	20,17 ± 0,03	1,65
	11	20,32 ± 0,04	1,10
	12	20,41 ± 0,04	2,05
	13	20,40 ± 0,02	2,03
	14	20,24 ± 0,04	1,18
	15	20,22 ± 0,02	1,12
	16	20,23 ± 0,03	1,16
	17	20,22 ± 0,02	1,14
	18	20,22 ± 0,02	1,17
	19	20,21 ± 0,04	1,10
	20	20,21 ± 0,03	1,10
	21	20,22 ± 0,02	1,09
	22	20,21 ± 0,02	1,05
	23	20,21 ± 0,03	1,06
	24	20,19 ± 0,04	0,98
	25	20,33 ± 0,04	1,67
	26	20,34 ± 0,02	1,72
	27	20,34 ± 0,02	1,71
	28	20,33 ± 0,03	1,69
	29	20,33 ± 0,02	1,67
	30	20,34 ± 0,04	1,68
CEL	31	20,9 ± 0,05	4,5
	32	20,7 ± 0,04	3,85
	33	20,9 ± 0,02	4,5
	34	20,85 ± 0,02	4,25
	35	20,84 ± 0,03	4,19

FIGURA 61 – DILATAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM CINZA REQUEIMADA



FONTE: A autora (2020)

Nota: o asterisco (\*) indica um aumento da dilatação significativa ( $p < 0,05$ )

As maiores dilatações são evidenciadas nos CPs contendo apenas resíduos de celulose (composições 31 a 35), seguido das que possuem combinação de resíduos das indústrias de celulose e MDF (composições 1 a 5). Para estas, de acordo com a análise estatística, as variações foram significativas devido a diferença de dilatação com as demais ( $p < 0,05$ ).

De maneira geral, verificou-se que as dilatações dos corpos de prova variaram de 0,98 a 4,5 mm.

Em relação as composições de 1 a 7, pode-se comparar os resultados obtidos na TABELA 33 com a TABELA 37. Nota-se que as dilatações das composições de 1 a 5 aumentaram com a cinza requeimada e nas composições 6 e 7 houve redução das dilatações nos novos CPs. A diferença entre elas está na presença e na ausência de resíduos de celulose em sua composição. Nas primeiras a presença de *dregs*, *grits* e lama de cal deixam a amostra mais úmida e suscetível a dilatar-se. Já as composições 6 e 7 possuem mais cinza requeimada e com isso menos água contida nos resíduos, e essa ausência de água nos resíduos provoca uma menor dilatação inicial decorrente das reações internas dos materiais.



#### 4.2.4 Resistência à água e Absorção de água

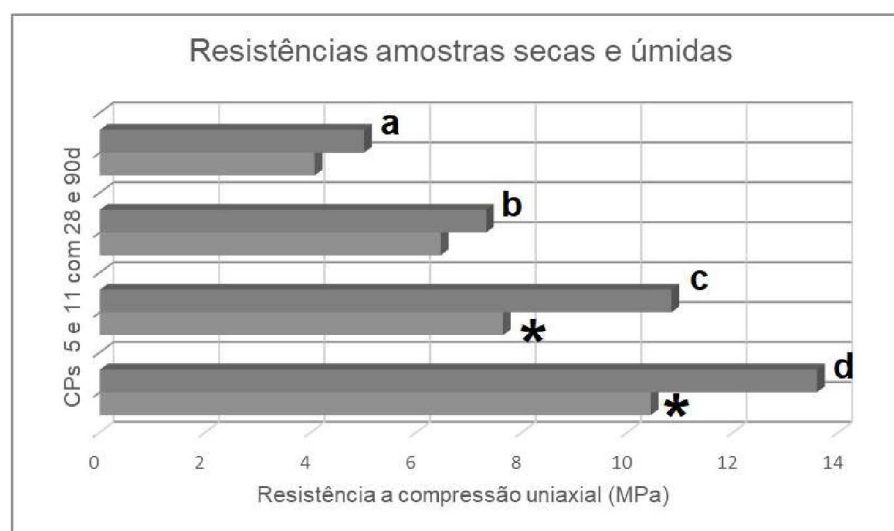
Os testes de resistência à água e absorção de água das composições 5 e 11 selecionadas foram realizadas no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Engenharia Química, e ocorreram quando os CPs estiverem com 28 e 90 dias de cura. A TABELA 37 e na FIGURA 62 apresenta os resultados das resistências das amostras secas e úmidas.

TABELA 37 – RESISTÊNCIAS DAS AMOSTRAS SECAS E ÚMIDAS DAS COMPOSIÇÕES 5 E 11 AOS 28 E 90 DIAS DE CURA

	Nº	Tempo de cura (dias)	Coef de absorção (Ca) (g)	R amostras secas (Rs) (MPa)	R amostras úmidas (Ru) (MPa)	Coef de resistência à água (Cra)
MDF + CEL <sup>(a)</sup>	5	28	1,084 ± 0,11	5,01 ± 0,26	4,07 ± 0,27	0,812
		90	2,156 ± 0,16	7,32 ± 0,22	6,46 ± 0,15	0,88
MDF	11	28	1,584 ± 0,12	10,83 ± 0,58	7,64 ± 0,32	0,705
		90	2,108 ± 0,09	13,59 ± 0,22	10,44 ± 0,62	0,768

Nota: <sup>(a)</sup> Celulose

FIGURA 62 – RESISTÊNCIAS AMOSTRAS SECAS E ÚMIDAS DAS COMPOSIÇÕES 5 (a, b) E 11 (c, d) AOS 28 E 90 DIAS DE CURA



FONTE: A autora (2020)

Nota: O asterisco (\*) indica um aumento da dilatação significativa ( $p < 0,05$ )

Nota-se que as maiores resistências são as dos CPs de composição 11 que apresentam apenas resíduos de MDF. Enquanto que a composição 5 tanto seca como úmida apresentou valores mais baixos de resistência e isso se deve a presença dos resíduos de celulose (*dregs*, *grits* e lama de cal) que aumentam a absorção de água no material fazendo com que a resistência do material diminua (PETRUCCI, 1993). Para Petrucci (1993) a granulometria dos agregados miúdos quanto mais fina aumenta a presença de superfícies específicas exigindo uma maior quantidade de água para molhar os grãos, o que acarreta na diminuição de sua resistência.

Nestas composições a análise estatística ANOVA indicou que a variação de resistência à compressão uniaxial entre as amostras secas e úmidas foram significativas ( $p < 0,05$ ) para a composição 11 aos 28 e aos 90 dias, pois a amostra úmida teve uma redução expressiva de sua resistência.

#### 4.2.5 Difração de raios X (DRX)

Para estudar os processos físico-químicas de interação das matérias primas e formação das estruturas de materiais desenvolvidas foram escolhidas as composições 5 e 11. Composição 5 tem máximo (35% de peso) de resíduos de produção de celulose (*dregs* *grits* e lama de cal) em uma porcentagem da produção na fábrica Berneck, por isso foi importante conhecer o efeito desse desperdício na alteração da estrutura e propriedades dos materiais desenvolvidos.

Para elucidar a influência do Lodo de MDF nas alterações na estrutura e nas propriedades das amostras, a composição 11 foi selecionada com a quantidade predominante deste componente nesta composição (35%) com uns de maiores valores de resistência na Tabela 35 e sem mistura de resíduos de produção de celulose.

As análises de DRX das composições 5 e 11 foram realizadas no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR) do Departamento de Geologia, e ocorreram quando os CPs estavam com 3, 90 e 365 dias de cura.

Nas FIGURAS 63 e 64 são apresentados os difratogramas das composições 5 e 11, e no QUADRO 7 e um resumo das estruturas cristalinas verificadas.

FIGURA 63 – DIFRATOGRAMAS DA COMPOSIÇÃO 5 (MDF + CELULOSE) AOS (A) 3, (B) 90 e (C) 365 DIAS DE CURA

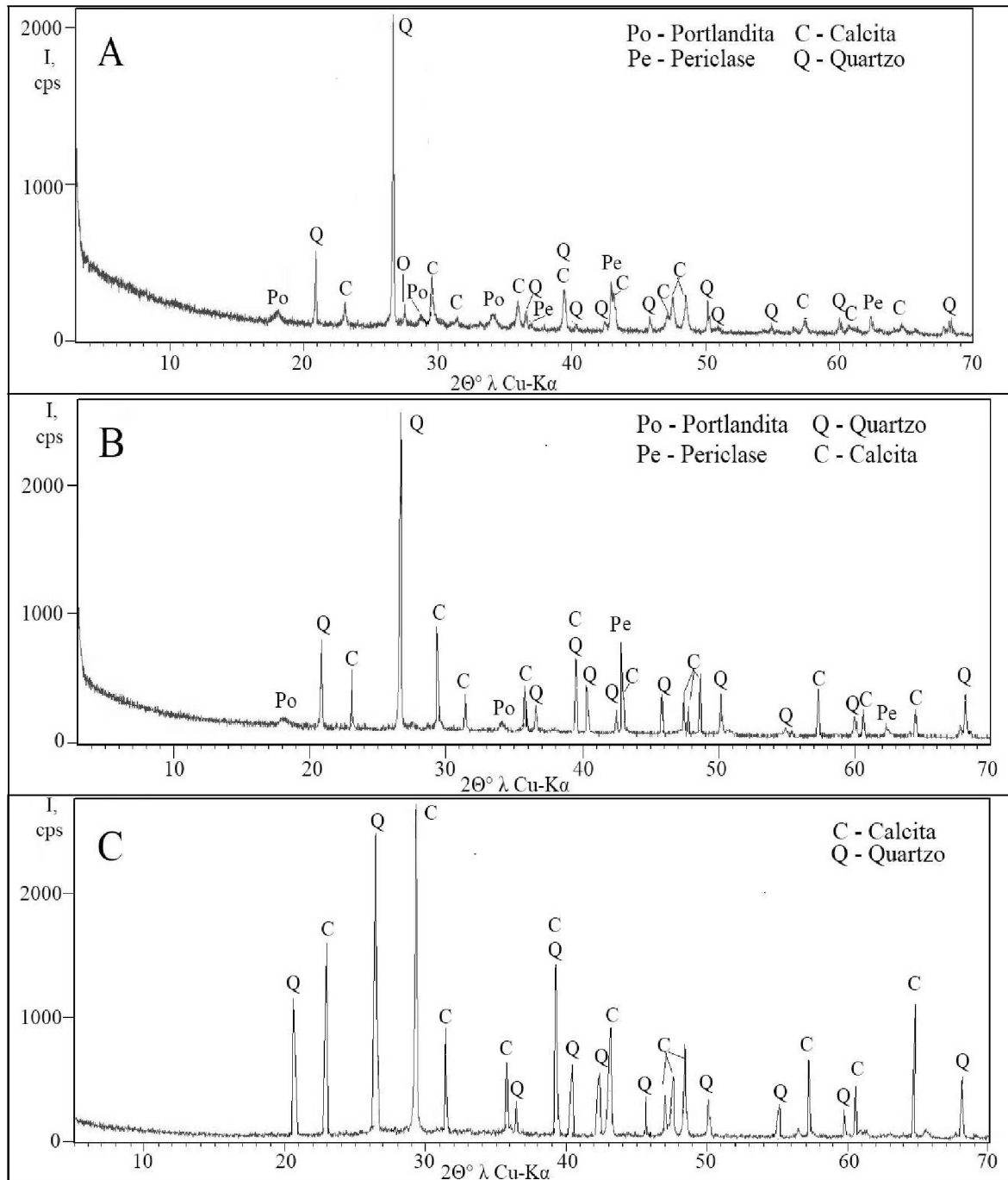
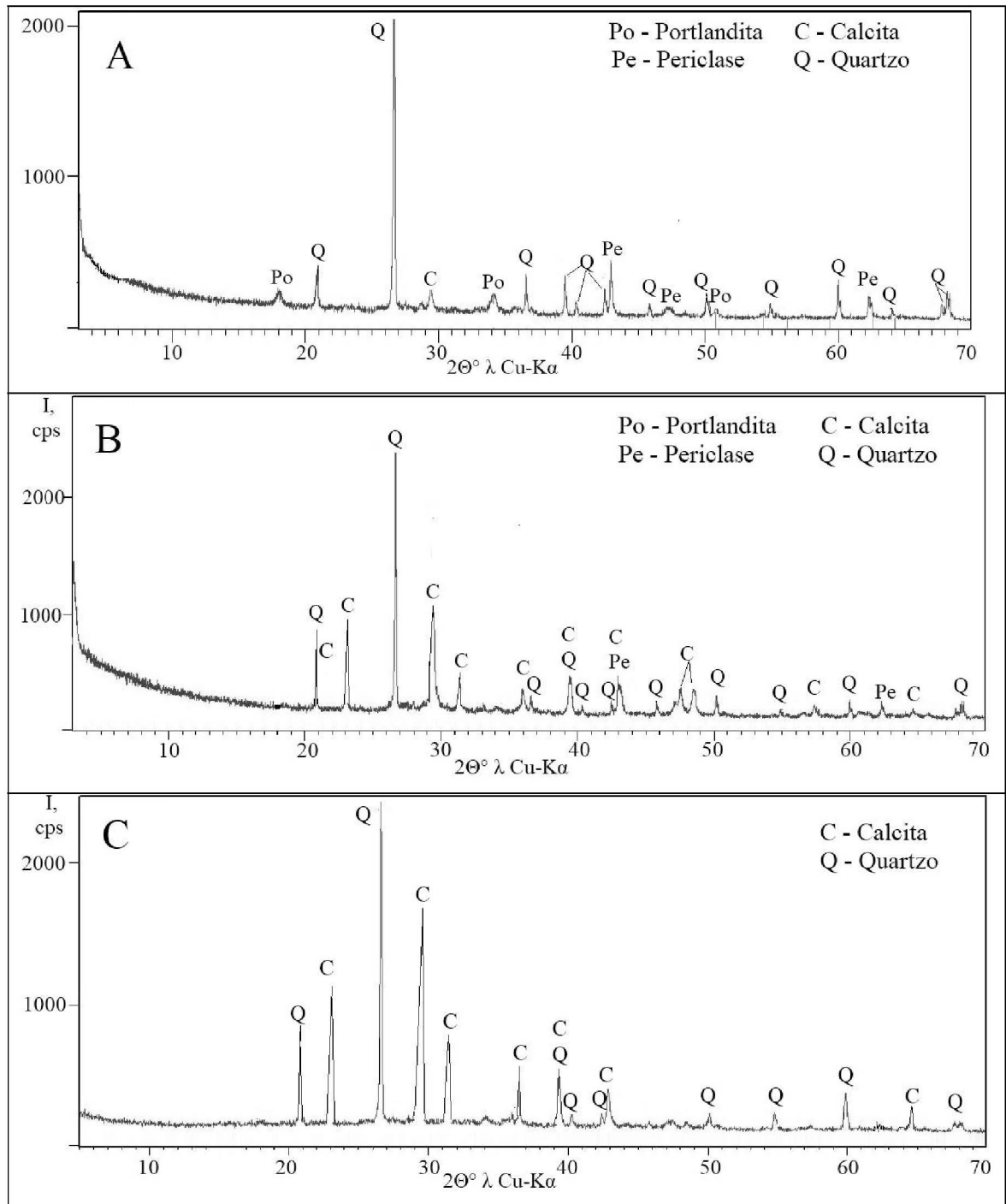


FIGURA 64 – DIFRATOGRAMAS DA COMPOSIÇÃO 11 (APENAS MDF) AOS (A) 3, (B) 90 E (C) 365 DIAS DE CURA



QUADRO 7 – RESUMO DAS ESTRUTURAS CRISTALINAS IDENTIFICADAS NOS DIFRATOGRAMAS DAS COMPOSIÇÕES 5 E 11 AOS 3, 90 365 DIAS DE CURA

Composição	3 dias	90 dias	365 dias
Comp 5 – MDF + CELULOSE	Calcita Quartzo Periclase Portlandita	Calcita Quartzo Periclase Portlandita	Calcita Quartzo
Comp 11 – MDF	Calcita Quartzo Periclase Portlandita	Calcita Quartzo Periclase Portlandita	Calcita Quartzo

Ao longo do tempo de cura novas estruturas cristalinas vão sendo formadas, o que garante o aumento da resistência do material.

A decifração e comparação dos difratogramas da composição 5 aos 3, 90 e 365 dias de cura (FIGURA 63) demonstra baixo nível de intensidade de todos picos de minerais, o que significa baixo nível de cristalização dos minerais da mistura inicial dos componentes de MDF e celulose.

O mineral predominante na FIG. 63-A é o quartzo com o pico de maior intensidade em ângulo  $2\theta^\circ = 26,6^\circ$  igual a 2.000 cps (cálculos por segunda). A intensidade de todos os outros minerais está em um nível de 300 cps e apenas um pico de calcita em ângulo  $29,6^\circ$  atinge um nível de 500 cps. A quantidade de substancias amorfas também é bastante alta.

Após de 90 dias de hidratação (Fig. 63-B) o pico maior de quartzo em ângulo  $2\theta^\circ = 26,6^\circ$  prevalece a intensidade 2.000 cps, o que usualmente significa os síntese de novo quantidade deste mineral. Mas as condições destes trabalhos não correspondem às condições desta síntese (a uma temperatura de cerca de  $400^\circ$  e uma pressão de cerca de 1000 atm). Mymrin (1987) explica este efeito dissolução da camada superficial destruída mecanicamente de partículas de quartzo em meio alcalino e aumento da refletividade do núcleo de quartzo monocristalino não quebrado. Este efeito de aumentar a intensidade dos reflexos de quartzo cria uma impressão errônea de sua síntese adicional.

Outra mudança na Figure 63-B em comparação com Fig. 63-A é bom visível de crescimento dos picos de calcita, especialmente nos ângulos de  $2\theta^\circ = 29,3^\circ - 31,5^\circ - 35,6^\circ - 47,3^\circ - 48,6^\circ - 57,3^\circ$  e  $64,4^\circ$ . Este crescimento de intensidade picos significa síntese de novas redes cristalinas de calcite durante de hidratação e cura das

amostras pela captação de CO<sub>2</sub> de atmosfera pela portlandita. Simultaneamente, carbonatos amorfos estão sendo sintetizados com um aumento na altura do fundo de raios-X.

O processo de síntese de calcita cristalina continua durante todos os 365 dias como evidenciado pelo crescimento de seus picos, especialmente no ângulo com  $2\theta = 29,3^\circ$  e praticamente todos outros acima nomeados. Por isso crescimento de altura dos picos de calcita.

Composição química de compósito 11 em comparação com compósito 5 contém (Tabela 35) metade da quantidade de cinza com 65% de SiO<sub>2</sub> e não há absolutamente nenhum resíduo de produção de celulose (*dregs*, *grits* e lama de cal) – os resíduos ricos em CaO, MgO e SiO<sub>2</sub>. Mas a composição 11 tem três vezes maior teor de lodo de MDF com alto teor de CaO e SiO<sub>2</sub> e 8 vezes menor de areia com SiO<sub>2</sub>, e 5% mais de RPC. Obviamente, tais mudanças nas composições químicas dos materiais comparados levam a diferença em processos físico-químicas de formação das estruturas finais.

Comparação das difratogramas de composição 11 das idades 3, 90 e 365 dias (Figura 64-A) permite ver semelhança com Figura 63-A só nos primeiros três dias em uma desaceleração relativa no crescimento da fase cristalina, e com visível aumento de síntese da fase amorfa especialmente no 90° dia.

Desaparecimento dos picos de portlandita e periclase acontece também, como em composição 5, só nas difratogramas de 365 dia. Mas o crescimento de altura de fundo de Raios-X é significativamente maior, do que na Figura 63-C.

Esta diferença principal em praticamente invisível aumento de síntese de novas formações amorfas em composição 5 e bem visível em composição 11 pode ser mais valorosa explicação em dois vezes maiores valores de resistência axial nas todas as idades de cura das amostras de composição 11 (Tabela 35). Este fato pode influir também nas propriedades mecânicas e físicas dos materiais comparados.

#### **4.2.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV), Micro-análise química (EDS) e Mapeamento de elementos químicos**

As análises de MEV-EDS e Mapeamento de elementos químicos dos corpos de prova das composições 5 e 11 foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica do Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais (CMCM) da UTFPR após a metalização prévia das amostras no Laboratório de Microscopia da Fiocruz (FIGURA 65). Os CPs das composições 5 e 11 selecionadas foram analisadas com tempos de cura de 3, 90 e 365.

FIGURA 65 – AMOSTRAS DAS (a) COMPOSIÇÕES 5 E (b) 11 AOS 90 E 365 DIAS METALIZADAS

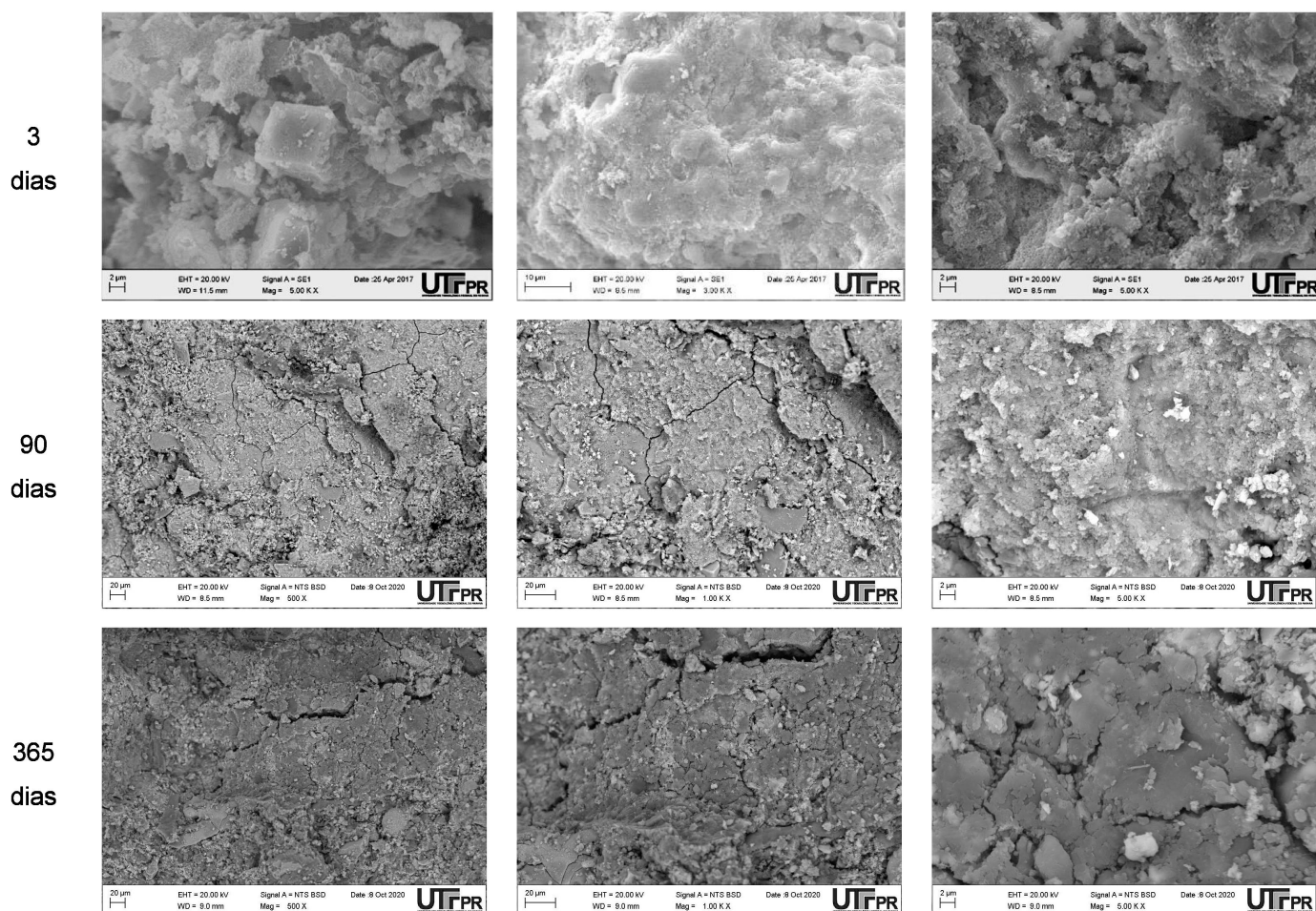


FONTE: A autora (2020)

##### **4.2.6.1 MEV-EDS e Mapeamento de elementos químicos da Composição 5 (MDF + CEL) aos 3, 90 365 dias**

Abaixo são apresentados os resultados das análises de MEV-EDS (FIGURA 66) e Mapeamento de elementos químicos para os corpos de prova da composição 5 (MDF + celulose). Estes resultados confirmam os resultados obtidos nas análises de DRX. Nas análises de MEV-EDS foram observadas as composições morfológicas dos corpos de prova ao longo dos 3, 90 e 365 dias de cura.

FIGURA 66 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA COMPOSIÇÃO 5 COM 3, 90 E 365 DIAS



A FIGURA 66 apresenta a estrutura morfológica da composição 5 pelo método MEV, onde pode-se verificar a existência de muitos poros entre as partículas aos 3 dias de idade. No início as partículas são angulosas, separadas com vazios e formatos distintos, não se repetem, é difícil dizer qual partícula é de qual componente estão sem água para hidratação não possibilitando a reação.

Aos 3 dias é possível verificar que as partículas são de diferentes tamanhos e morfologia. Sendo possível observar alguns elementos com formas, aparentemente cristalinas, isso pode se dar pelo início da formação de novas estruturas, pois a umidade contida nos resíduos de celulose, juntamente com o seu ambiente alcalino, pode ter dado o início ao processo de hidratação da cal.

Aos 90 dias são constatadas na amostra partículas e estruturas solidificadas, provenientes da interação entre os componentes da mistura. Os vazios ou poros quase desaparecem, por outro lado, aparecem, também, os defeitos das partículas não reagidas e não hidratadas.

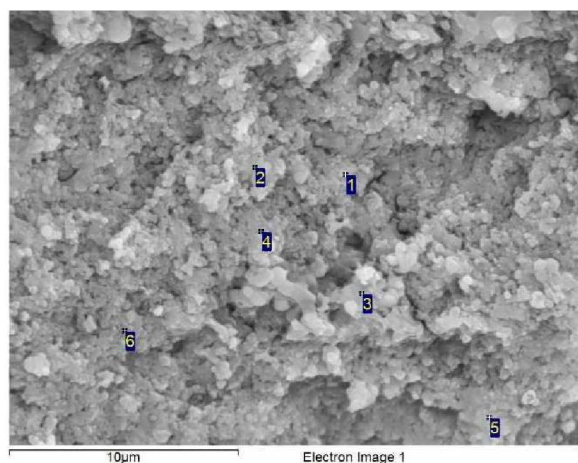


Aos 90 dias é observada a grande quantidade de interação entre as partículas existentes. Com o material mais solidarizado, é possível identificar uma maior regularidade na estrutura do material, proveniente da interação entre os componentes da mistura.

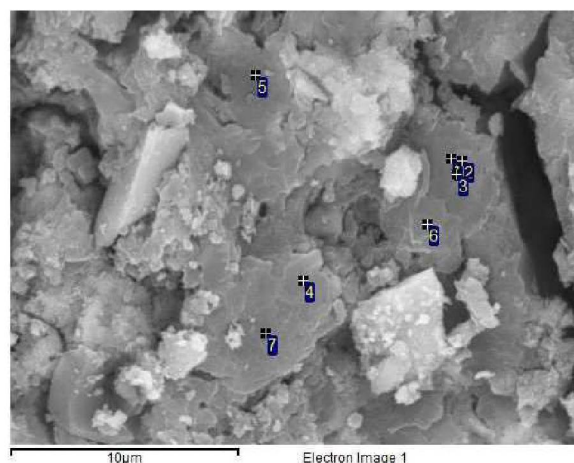
E aos 365 dias de cura é possível verificar superfície plana e densa com a impressão de grande dureza. Com o passar do tempo, os poros vão diminuindo e, conseqüentemente, a resistência vai aumentando, pois, os vazios diminuem. Percebe-se que a maioria das formações são amorfas e algumas cristalinas, porém em pequena quantidade. De maneira geral nota-se que a quantidade de poros é muito menor e que há uma grande interação entre as partículas que constituem a amostra.

Na FIGURA 67 são apontados os pontos onde foi realizada a microanálise química de EDS, seus resultados estão apresentados na TABELA 38 e TABELA 39. Já na FIGURA 68 apresenta-se os resultados do mapeamento de elementos químicos.

FIGURA 67 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DA COMPOSIÇÃO 5 COM 90 E 365 DIAS



10.000x X - 90 dias



10.000x X - 365 dias

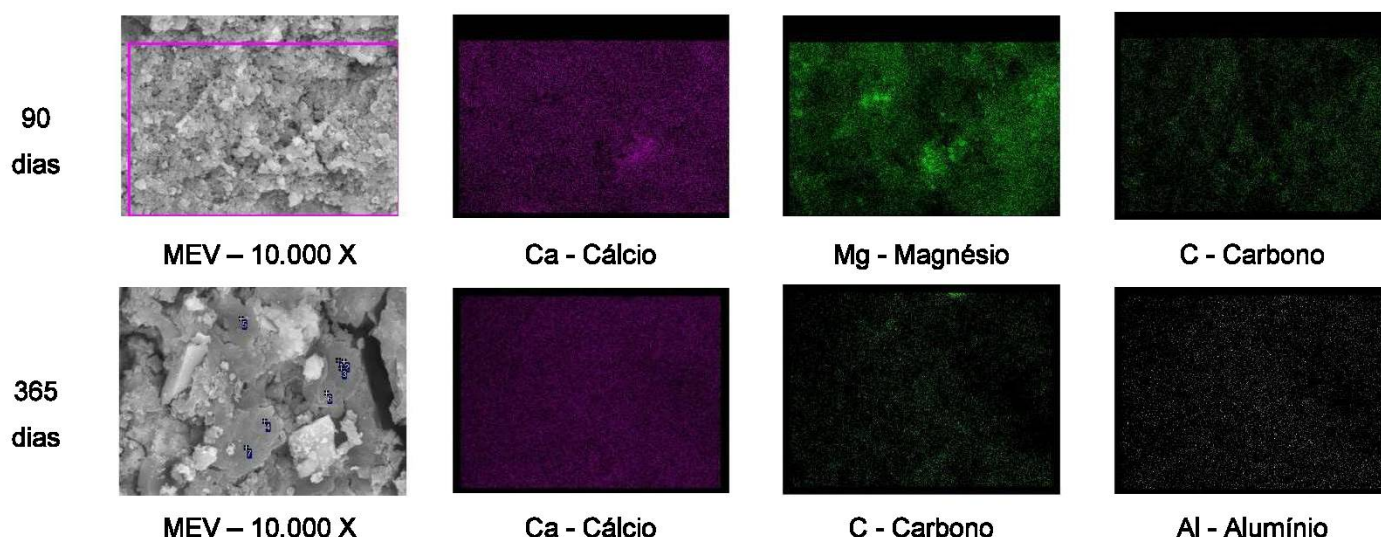
TABELA 38 – ANÁLISE ATÔMICA DA COMPOSIÇÃO 5 COM 90 DIAS PELO MÉTODO EDS

Composição atômica de pontos da amostra, por % de peso										
Espectro	C	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Fe	Total
Ponto 1		1,30	30,16			0,53	0,53	67,47		100,0
Ponto 2		1,51	38,37	0,64			0,43	59,05		100,0
Ponto 3		2,46	39,59		6,64		0,40	50,39	0,51	100,0
Ponto 4		1,68	33,34		0,90		0,45	63,62		100,0
Ponto 5	36,26	2,28	25,54				0,33	35,59		100,0
Ponto 6		1,68	29,81				0,45	68,07		100,0
Máximo	36,26	2,46	39,59	0,64	6,64	0,53	0,53	68,07	0,51	
Mínimo	36,26	1,30	25,54	0,64	0,90	0,53	0,33	35,59	0,51	

TABELA 39 – ANÁLISE ATÔMICA DA COMPOSIÇÃO 5 COM 365 DIAS PELO MÉTODO EDS

Composição atômica de pontos da amostra, por % de peso												
Espectro	C	Na	Mg	Al	Si	P	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Total
Ponto 1			4,72	4,91	7,03			3,91	74,18		5,26	100,0
Ponto 2			5,46	5,15	10,88			5,32	61,87	1,56	9,76	100,0
Ponto 3	62,26		2,21	2,01	3,44			1,90	24,20	0,69	3,30	100,0
Ponto 4			4,57	15,44	5,89			3,01	68,05		3,04	100,0
Ponto 5		0,67	9,08	22,12	18,45	5,41	0,84	2,04	36,50		4,88	100,0
Ponto 6			3,79	4,40	13,26			4,19	66,36	1,40	6,60	100,0
Ponto 7			4,52	12,96	9,47		0,82	3,28	65,59		3,35	100,0
Máximo	62,26	0,67	9,08	22,12	18,45	5,41	0,84	5,32	74,18	1,56	9,76	
Mínimo	62,26	0,67	2,21	2,01	3,44	5,41	0,82	1,90	24,20	0,69	3,04	

**FIGURA 68 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DA COMPOSIÇÃO 5 COM 90 E 365 DIAS**

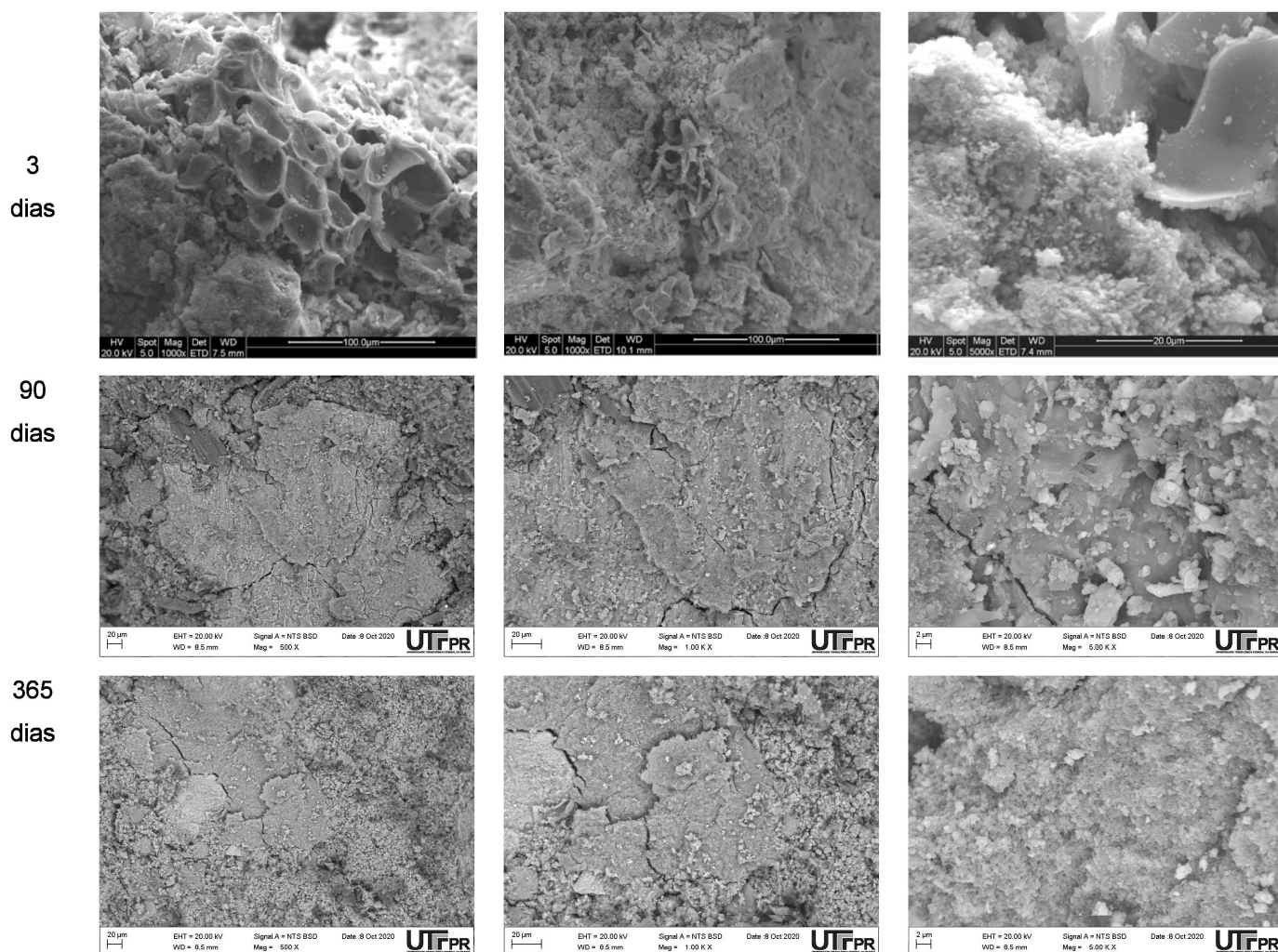


Comparando os valores de composição química da EDS e do mapeamento elemental é possível confirmar a presença de teores de Mg, Al e Si, característicos de substâncias amorfas. Esta informação confirma alto teor de materiais amorfos, de acordo com os resultados de DRX.

#### 4.2.6.2 MEV-EDS e Mapeamento de elementos químicos da Composição 11 (MDF) aos 3, 90 365 dias

Os resultados das análises de MEV-EDS (FIGURA 69) e Mapeamento de elementos químicos para os corpos de prova da composição 11 (MDF) são apresentados a seguir. Como esperado as composições morfológicas dos corpos de prova ao longo das idades de 3, 90 e 365 dias reafirmam o aparecimento de novas estruturas cristalinas, estando de acordo com o obtido nas análises de DRX.

FIGURA 69 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DA COMPOSIÇÃO 11 COM 3, 90 E 365 DIAS



O resultado da aplicação da microscopia eletrônica de varredura permite observar que nas micrografias do corpo de prova com 3 dias, ainda há pedaços de cinzas porém que a porosidade do material é menor do que a verificada anteriormente na matéria-prima. Isto porque em 3 dias já há uma interação e mesmo que se note alguns pedaços de cinza, estes já não são tão frequentes. Com a magnificação das imagens aos 3 dias de cura é possível observar já um campo ligado devido à hidratação, e também aparecem ainda alguns microporos.

Para os corpos de prova de 90 dias da FIGURA 69 é verificado porque a resistência cresce uma vez que há uma maior interação entre os componentes. Aos 90 dias as partículas já estão mais juntas do que separadas, porém nota-se que o material não é liso porque não há um fundente que una as partículas. Mesmo havendo

interação entre eles, a presença de microporos e trincas diminuem a resistência do material.

Aos 365 dias de cura, nas micrografias já aparecem estruturas monolíticas, e pode-se notar a presença de novas formas cristalinas como cristais. Estas novas cristalizações indicam que o material com o tempo está adquirindo maior resistência e as partículas estão reagindo e se interligando. O fato de haver poucas e pequenas trincas serve de apoio para esta afirmação. Uma vez que as trincas atrapalham e dificultam o aumento da resistência do material, pois são como fronteiras entre as diferentes partículas que separam os componentes.

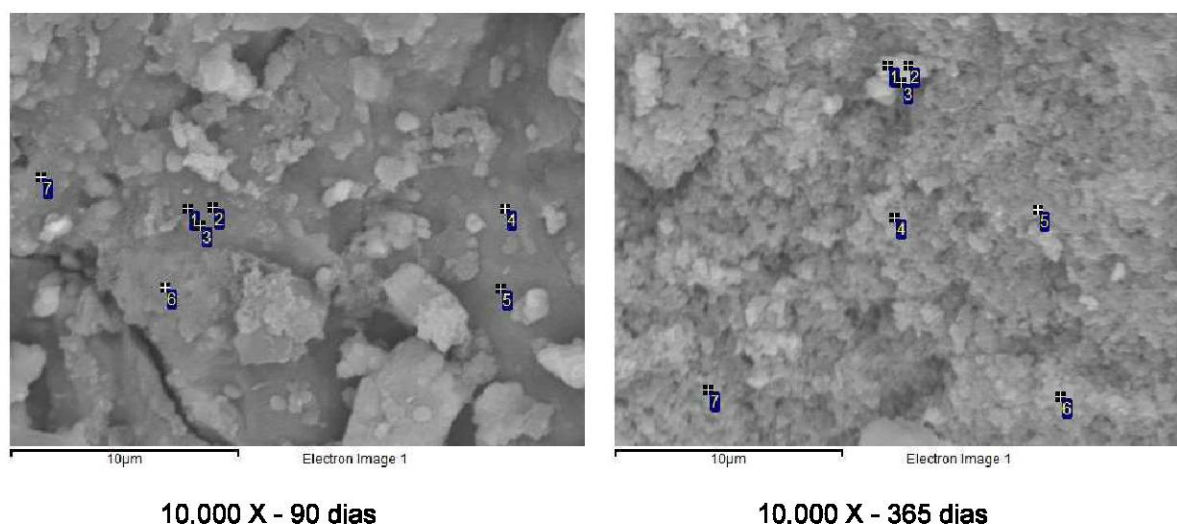
Nos pontos apresentados na FIGURA 70 foram realizadas as micro-análises química de EDS nos corpos de prova da composição 11 aos 90 e 365 dias de cura. Seus resultados são apresentados na TABELA 39, confirmando os resultados elementares da análise de fluorescência (FRX) realizadas nos resíduos em estudo.

A principal diferença observada da fase inicial (3 dias) para a final (365 dias) do tempo cura da composição 11 é a redução do número de poros. Fator esse que comprova o aumento da resistência dos materiais ao longo do tempo, que ocorrem pela formação de novas estruturas cristalinas.

Observado a morfologia pela de MEV, os CPs da composição 11 apresentam aspectos de formação de estrutura amorfa, porém, as estruturas cristalinas foram confirmadas nas análises mineralógicas do método de DRX e os elementos atômicos de formação dos cristais observados nas análises de EDS.



**FIGURA 70 – PONTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE DE EDS DA COMPOSIÇÃO 11 COM 90 E 365 DIAS**



A análise de composição atômica foi realizada por meio do equipamento de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) cujos resultados são apresentados na TABELA 40 e TABELA 41. O mapeamento dos elementos químicos está na FIGURA 71.

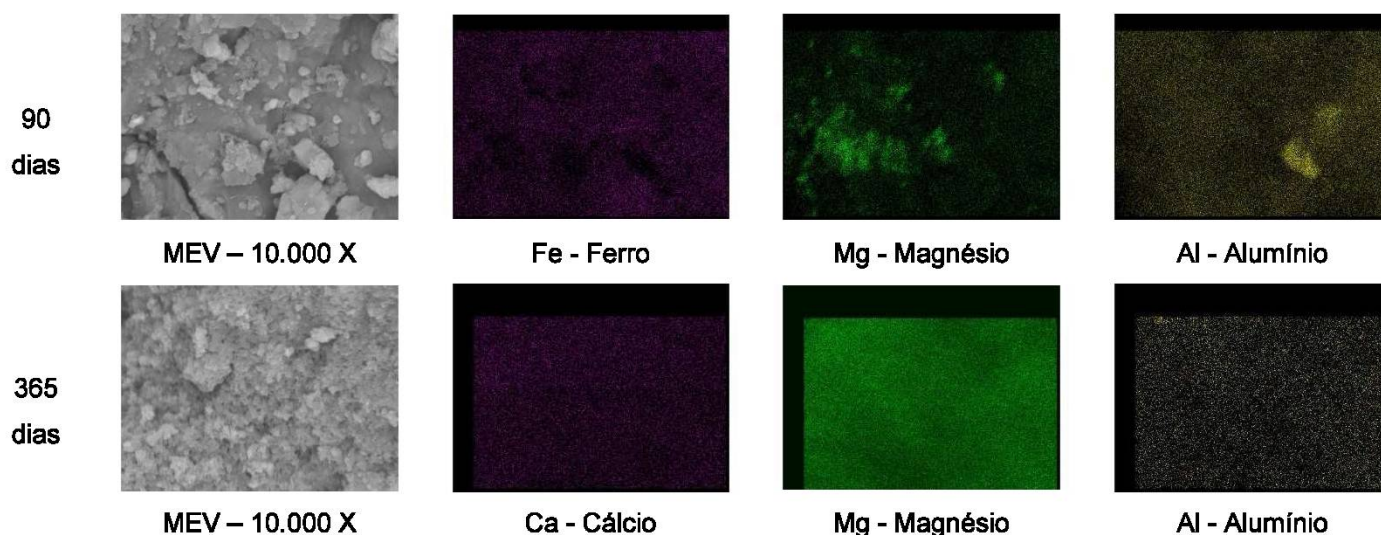
**TABELA 40 – ANÁLISE ATÔMICA DA COMPOSIÇÃO 11 COM 90 DIAS PELO MÉTODO EDS**

<b>Espectro</b>	<b>C</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Cl</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Ti</b>	<b>Fe</b>	<b>Total</b>
Ponto 1		8,36	15,69	12,85		0,96	16,63	0,79	44,73	100,0
Ponto 2		7,28	16,77	14,03		1,01	14,67	0,79	45,46	100,0
Ponto 3	40,42	4,53	8,89	7,21		0,63	9,10	0,48	28,73	100,0
Ponto 4		6,23	20,69	14,94		1,57	15,11	1,12	40,34	100,0
Ponto 5		6,20	15,74	13,60		1,20	16,69	1,29	45,28	100,0
Ponto 6		26,89	13,73	10,51		0,84	13,89	0,65	33,49	100,0
Ponto 7		7,05	13,96	13,24	0,46	1,35	19,43	0,86	43,66	100,0
Máximo	40,42	26,89	20,69	14,94	0,46	1,57	19,43	1,29	45,46	
Mínimo	40,42	4,53	8,89	7,21	0,46	0,63	9,10	0,48	28,73	

TABELA 41 – ANÁLISE ATÔMICA DA COMPOSIÇÃO 11 COM 365 DIAS PELO MÉTODO EDS

Composição atômica de pontos da amostra, por % de peso										
Espectro	C	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Fe	Total
Ponto 1		1,05	42,17	0,78		0,46	0,37	54,62	0,55	100,0
Ponto 2		1,10	40,63	0,88			0,46	56,92		100,0
Ponto 3	23,09	0,65	34,15	0,48			0,33	41,31		100,0
Ponto 4		0,82	49,44	0,72			0,44	48,04	0,54	100,0
Ponto 5		0,87	52,29	0,90		0,41	0,45	44,52	0,57	100,0
Ponto 6		1,32	47,40	1,35	1,17	0,56	0,54	47,27	0,40	100,0
Ponto 7			44,76	0,94			0,35	53,35	0,61	100,0
Máximo	23,09	1,32	52,29	1,35	1,17	0,56	0,54	56,92	0,61	
Mínimo	23,09	0,65	34,15	0,48	1,17	0,41	0,33	41,31	0,40	

FIGURA 71 – MAPEAMENTO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DA COMPOSIÇÃO 11 COM 90 E 365 DIAS



Comparando os valores de composição química da EDS e do mapeamento elementar é possível confirmar a presença de teores de Ca, Mg, Al e Fe, que como verificado na composição 5 são característicos de substâncias amorfas.

#### ***4.2.7 Ensaios de lixiviação e solubilização***

Os ensaios de lixiviação e solubilização foram realizados com as composições selecionadas (5 e 11), com 365 dias de cura, visando analisar a segurança ambiental dos produtos obtidos e, assim, garantir a proteção ambiental caso venham a ser utilizados futuramente na área de construção civil. Para tal foi contratado um laboratório terceirizado, Teclab, cujos laudos são apresentados nos Apêndices.

Estas análises são importantes a fim de se verificar se houve a imobilização de eventuais contaminantes presentes nos materiais utilizados nos referidos compósitos. Para tal, a NBR 10.0004 (ABNT, 2004a) indica a possibilidade da realização de ensaios na massa bruta, no solubilizado e no lixiviado, bem como os limites permitidos para resíduos sólidos a fim de critérios de comparação.

Nas TABELAS 42, 43 e 44 são apresentados os valores de concentração de contaminantes para as amostras 5 (MDF + Celulose) e 11 (apenas MDF).



TABELA 42 – CONCENTRAÇÃO DE CONTAMINANTES PARA A MASSA BRUTA DAS COMPOSIÇÕES 5 E 11 A 365 DIAS DE CURA

Parâmetro	Unidade	Resultado CP 5 MDF+CEL	Resultado CP 11 MDF	V.M.P <sup>1</sup>
pH	U pH	11,30	11,69	-
Densidade	g/mL	1,51	2,02	-
Carbono Orgânico Total	%	7,3	7,8	-
Cádmio	mg/L	< 1,0	< 1,0	-
Chumbo	mg/L	8,8	2,3	-
Cromo	mg/L	17,6	37,7	100
Mercúrio	mg/L	< 10,0	< 10,0	100
Arsênio	mg/kg	< 10,0	< 10,0	1000
Estanho	mg/kg	< 10,0	< 10,0	-
Zinco	mg/kg	619,9	261,7	-
Níquel	mg/kg	1,1	3,8	-
Selênio	mg/kg	< 10,0	< 10,0	100
Prata	mg/kg	< 1,0	< 1,0	-
Antimônio	mg/kg	< 10,0	< 10,0	1000
Vanádio	mg/kg	< 10,0	< 10,0	1000
Bário	mg/kg	41,2	47,6	-
Cobalto	mg/kg	< 1,0	< 1,0	1000
Berílio	mg/kg	< 1,0	< 1,0	100
Sólidos Totais	%	97,4	98,5	-
Benzeno	mg/kg	< 0,10	< 0,10	0,5
Tolueno	mg/kg	< 0,10	< 0,10	-
Etilbenzeno	mg/kg	< 0,10	< 0,10	-
m/p xilenos	mg/kg	< 0,10	< 0,10	-
o-xilenos	mg/kg	< 0,10	< 0,10	-
Sulfeto	mg/kg	< 0,50	< 0,50	500
Cianeto	mg/kg	< 10,0	< 10,0	250
Fenol	mg/kg	8,15	4,10	5,0
Formaldeído	mg/kg	Ausente	Ausente	Ausência
Coliformes Termotolerantes	UFC/g	< 10	< 10	-
<i>Salmonella spp</i>	UFC/10g	< 10	< 10	-
Vírus entéricos	UFF/g	< 1	< 1	-

FONTE: A autora (2020)

**Nota:** (¹) V.M.P: Valor Máximo Permitido pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a)

TABELA 43 – CONCENTRAÇÃO DE CONTAMINANTES NO EXTRATO SOLUBILIZADO DAS COMPOSIÇÕES 5 E 11 A 365 DIAS DE CURA

Parâmetro	Unidade	Resultado CP	Resultado CP	V.M.P <sup>1</sup>
		5 MDF+CEL	11 MDF	
Arsênio	mg/L	< 0,01	< 0,01	0,01
Bário	mg/L	< 0,50	< 0,50	0,7
Cádmio	mg/L	< 0,005	< 0,005	0,005
Chumbo	mg/L	< 0,005	< 0,005	0,01
Cromo	mg/L	< 0,05	< 0,05	0,05
Mercúrio	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,001
Prata	mg/L	< 0,005	< 0,005	0,05
Selênio	mg/L	< 0,01	< 0,01	0,01
Manganês	mg/L	0,150	0,160	0,1
Ferro	mg/L	10,70	3,30	0,3
Cobre	mg/L	0,034	0,340	2,0
Alumínio	mg/L	13,5	24,50	0,2
Sódio	mg/L	260,0	660,0	200
Zinco	mg/L	0,500	0,300	5,0
Fluoretos	mg/L	6,80	7,40	1,5
Cianeto	mg/L	0,11	0,20	0,07
Fenol	mg/L	39,10	18,40	0,01
Cloreto	mg/L	273,5	239,9	250
Sulfato	mg/L	186,0	1.455,0	250
Nitrato	mg/L	65,0	46,0	10,0
Surfactantes	mg/L	15,0	14,0	0,5
Dureza	mg/L	4.556,7	1.093,6	250
pH	U pH	11,23	11,24	-
Cor	UC	1.760,0	94,0	-
Turbidez	NTU	6,0	15,0	-
Sólidos Dissolvidos	mg/L	2.233,4	983,4	-
Totais				
Sólidos Totais	mg/L	2.250,0	1.000,0	-
Toxicidade aguda com <i>Daphnia magna</i>	FTD	4	4	-

FONTE: A autora (2020)

**Nota:** (¹) V.M.P: Valor Máximo Permitido pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a)

TABELA 44 – CONCENTRAÇÃO DE CONTAMINANTES NO EXTRATO LIXIVIADO DAS COMPOSIÇÕES 5 E 11 A 365 DIAS DE CURA

Parâmetro	Unidade	Resultado CP 5	Resultado CP 11	V.M.P <sup>1</sup>
		MDF+CEL	MDF	
Arsênio	mg/L	< 0,10	< 0,10	1,0
Bário	mg/L	< 1,0	< 1,0	70
Cádmio	mg/L	< 0,005	< 0,005	0,5
Chumbo	mg/L	< 0,005	< 0,005	1,0
Cromo	mg/L	< 0,05	< 0,10	5,0
Cromo Hexavalente	mg/L	< 0,10	< 0,10	-
Prata	mg/L	< 0,005	< 0,005	5,0
Mercúrio	mg/L	< 0,01	< 0,01	0,001
Selênio	mg/L	< 0,05	< 0,05	1,0
Fluoretos	mg/L	3,85	1,62	150
Cianeto	mg/L	0,05	0,01	-
Óleos e Graxas	mg/L	54,6	150,3	-
Totais				
Fenol	mg/L	10,60	4,00	-
Benzeno	mg/L	< 0,01	< 0,01	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	< 0,01	< 0,01	0,07
Cloreto de Vinila	mg/L	< 0,01	< 0,01	0,5
Clorobenzeno	mg/L	< 0,01	< 0,01	100
Clorofórmio		< 0,01	< 0,01	6,0
1,4 Dicloroetano	mg/L	< 0,01	< 0,01	7,5
1,2 Dicloroetano	mg/L	< 0,01	< 0,01	1,0
Tetracloroeto de carbono	mg/L	< 0,01	< 0,01	0,2
2,4,5 Triclorofenol	mg/L	< 0,01	< 0,01	400
2,4,6 Triclorofenol	mg/L	< 0,01	< 0,01	20
Cresol	mg/L	< 0,01	< 0,01	200
Hexaclorobenzeno	mg/L	< 0,01	< 0,01	0,1
Metiletilcetona	mg/L	< 0,01	< 0,01	200
Tetracloroetileno	mg/L	< 0,01	< 0,01	4,0
Tricloroetileno		< 0,01	< 0,01	7,0
Aldrin + Dieldrin	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,003
Clordano	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,02
DDT + DDD + DDE	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,2
2,4 D	mg/L	< 0,001	< 0,001	3,0
Endrin	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,06

Parâmetro	Unidade	Resultado CP 5	Resultado CP 11	V.M.P <sup>1</sup>
		MDF+CEL	MDF	
Heptacloro epóxido + Heptacloro	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,003
Lindano	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,2
Metoxicloro	mg/L	< 0,001	< 0,001	2,0
Pentaclorofenol	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,9
Toxafeno	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,5
2,4,5 – T	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,2
2,4,5 – TP	mg/L	< 0,001	< 0,001	1,0

FONTE: A autora (2020)

**Nota:** (¹) V.M.P: Valor Máximo Permitido pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a)

Os resultados mostram que as amostras analisadas da composição 5 e da 11 não atendem ao anexo G (solubilizado) mas atendem ao anexo F (lixiviado) da NBR 10.0004:2004. Sendo assim, ambas as amostras se classificam como Classe II A – Não inerte, conforme esta norma.

Quanto à análise de patogenicidade a amostra atende ao item 4.2.1.5 da norma NBR 10.0004:2004 por não apresentarem suspeita de conter microrganismos patogênicos, proteínas virais, plasmídios ou outro organismo citado no referido item da norma. Já referente a análise de toxicidade as amostras atendem ao item 4.2.1.4 da Norma NBR 10.004:2004 por não apresentarem efeitos nocivos decorrente da presença de agente ecotóxico.

Apesar das normas NBR 10.004 (ABNT, 2004a), NBR 10.005 (ABNT, 2004b) e NBR 10.006 (ABNT, 2004c) terem sido usadas como referências na imobilização de contaminantes cabe destacar que não são específicas para compósitos com características de concreto. Sendo assim, não se pode refutar de maneira definitiva o não uso de tais resíduos na construção civil no que se refere à segurança ambiental e à saúde das pessoas, pois as outras composições devem ser analisadas também e verificar se há ou não imobilização dos contaminantes.

Estudos mais aprofundados para avaliação de eventuais impactos ambientais e à saúde no curto e longo prazo podem ser realizados. Além de verificar se a troca do coagulante/floculante por um produto não mineral tornaria o lodo mais viável e inerte nos ensaios de solubilização. Para tal, seria necessário alterar o coagulante utilizado e realizar novas análises de solubilização e lixiviação das amostras.

Conforme FIGURA 8 atualmente utiliza-se no tratamento físico-químico, Hidróxido de Cálcio para o ajuste do pH, o coagulante Policloreto de Alumínio (PAC) e como floculante o polímero aniônico PROFLOC A 100 (RIBEIRO, 2017). O que justifica a elevada presença de alumínio nas duas composições estudadas na TABELA 44. Sendo assim, recomenda-se a utilização de um coagulante não mineral, isento de metais e que produz menor volume de lodo a ser descartado (PELEGRINO, 2011).

Nota-se ainda que segundo a TABELA 35 que a composição nº 11 apresenta a maior proporção de lodo físico-químico em sua composição (35%) em comparação com as demais. Logo, novas análises em outros corpos de prova com proporções menores de lodo poderiam ser realizadas a fim de verificar a influência do lodo nos ensaios de solubilização.

Outra sugestão seria a mudança do processo de fabricação dos compósitos, ao invés de gerar materiais com características de concreto, utilizar fornos para obtenção de cerâmicas, assim provavelmente muitos voláteis e contaminantes seriam removidos de forma a tornar o compósito inerte, classe II B - Não perigoso e inerte, conforme a NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004a). Apesar da possibilidade de imobilizar possíveis contaminantes, o uso de fornos para geração de novos materiais cerâmicos, bem como o destino dos resíduos para aterro industrial classe 2 ou coprocessamento, devem ser analisados quanto a sua viabilidade técnica e econômica. Sendo assim, novos estudos devem ser realizados analisando todo o processo industrial e verificando seu desempenho ambiental.

Na TABELA 44 nota-se que além do alumínio, os outros parâmetros que ultrapassaram os valores máximo permitido foram: manganês, ferro, sódio, fluoretos, cianeto, fenol, cloreto, sulfato, nitrato, surfactantes e dureza. Destes nota-se que os resíduos de celulose influenciaram na presença de ferro, fenol, cloreto, nitrato e dureza pois estão em maior concentração na composição nº 5 (com celulose) do que na composição nº 11 (apenas MDF). Enquanto que o sódio e o sulfato, além do alumínio, apresentaram maiores concentrações na composição nº 11 na qual não há resíduos de celulose. Provavelmente a presença de sódio e sulfato é decorrente da maior proporção de areia contida no meio (25%) estando de acordo com as análises de FRX apresentadas no APÊNDICE 1.

Já o manganês e surfactantes, além de fluoretos e cianeto, apresentaram concentrações próximas em ambas as composições indicando que a ausência de resíduos de celulose não influenciou na sua concentração.

Outro fator importante é ressaltar a necessidade de gerar normas específicas para produtos de material de construção civil, como concreto e cerâmica, gerados a partir de resíduos, visto que esta é uma linha de pesquisa em crescente avanço uma vez que a consciência ambiental e a busca por alternativas de disposição estão se tornando cada vez mais necessárias.

#### 4.3 VALORAÇÃO DOS RESÍDUOS DE MDF E DOS COMPÓSITOS GERADOS PELO MODELO EPIP

Em um primeiro momento foi estudado cada um dos resíduos de MDF utilizados neste estudo (cinzas, lodo físico-químico e areia), bem como o levantamento das entradas e saídas do processo e a potência dos equipamentos envolvidos. Posteriormente foi realizada também a valoração dos corpos de prova que alcançaram os valores de resistência em conformidade com as normativas NBR 7.170 (ABNT, 1983) para tijolos maciços e NBR 6.136 (ABNT, 2006) para blocos de concreto para vedação. Todas as avaliações seguiram os 6 estágios propostos pelo modelo matemático EPIP, conforme apresentado na FIGURA 24 no terceiro capítulo de Material e Métodos desta tese.

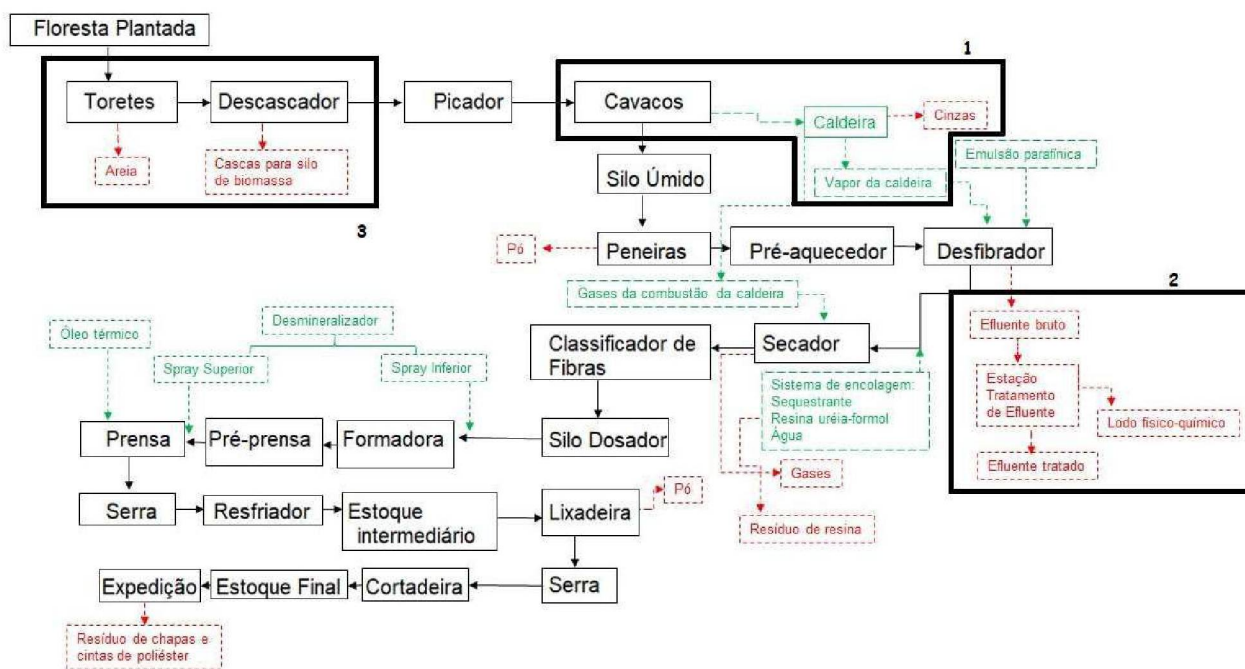
##### 4.3.1 Valoração dos resíduos de MDF

Para a valoração dos resíduos foram levantadas informações do processo produtivo a fim de inseri-las na planilha do modelo matemático EPIP (MACENO, 2018).

O 1º estágio foi delimitar o processo produtivo com relação aos resíduos de MDF em estudo (cinzas, lodo físico-químico e areia), para tal foram elaborados diagramas com as entradas (*inputs*) e saída (*outputs*) vinculados aos resíduos.

Na FIGURA 72 é apresentado o fluxograma completo do processo produtivo de MDF, e as delimitações utilizadas neste estudo para cada um dos resíduos.

**FIGURA 72 – DELIMITAÇÃO DA GERAÇÃO DOS RESÍDUOS (1) CINZAS, (2) LOFO FÍSICO-QUÍMICO E (3) AREIA NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAINÉIS DE MDF**



**FONTE:** Adaptado de RIBEIRO (2017)

Nesta primeira etapa também é definida a unidade funcional que será o m<sup>3</sup> de MDF produzido por mês; bem como a definição dos limites e dos aspectos ambientais no processo industrial. Os limites do processo de geração de cada resíduo estão apresentados na FIGURA 72 e são descritos mais detalhadamente nas próximas seções.

O 2º estágio é relacionado a quantificação de massa, energia e custos. Para tal foram verificados os valores de geração de cada um dos resíduos e verificação dos equipamentos vinculados aos resíduos, tais como: Caldeira, Estação de tratamento (ETE) e Descascador. Foi tomado como base que a produção de painéis de MDF é de 25.000 m³/mês, a de cinzas é de 1200 t/mês, a de lodo físico-químico é de 400 t/mês e a de areia de 120 t/mês (TABELA 4).

No 3º estágio leva em consideração os custos de investimento em gestão e gasto com ações de pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

No 4º estágio é a execução de AICV adaptado e no 5º estágio a ponderação da AICV. Por último o 6º estágio é a obtenção e análise dos resultados pós simulação, podendo ser obtidos os Aspectos Ambientais de maior criticidade.



#### 4.3.1.1 Cinzas

Na FIGURA 73 é apresentado o diagrama de entrada e saída da caldeira, na FIGURA 74 apresenta-se a caldeira e local de armazenamento das cinzas.

FIGURA 73 – DIAGRAMA DE ENTRADAS E SAÍDAS DA CALDEIRA

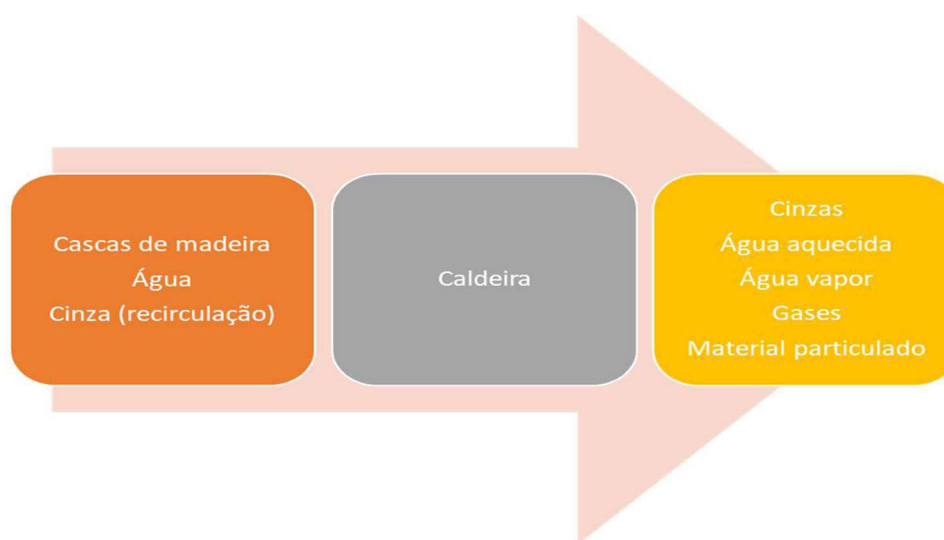


FIGURA 74 – CALDEIRA E ARMAZENAMENTO DE CINZAS



FONTE: A autora (2020)



As entradas seria as cascas da madeira, água e cinza de recirculação, a qual é requeimada visando melhor aproveitamento energético. O lodo estações de tratamento físico-químico de efluentes não é queimado na caldeira tendo em vista a proibição especificada pelo Artigo 3º da Resolução SEMA 42, de 22 de julho de 2008 (IAP, 2008).

Segundo PGRS da empresa, as cinzas são classificadas como resíduos II A (não perigoso e não inerte) segundo a norma NBR 10.004 (ABNT, 2004a). As cinzas fina e grossa são geradas e coletadas em locais diferentes da caldeira. A cinza grossa é retirada uma saída na parte frontal da caldeira, próximo ao aquecedor de óleo térmico, por onde os gases provenientes da queima são direcionados para este aquecedor e com isso ocorre o arraste de partículas maiores de não queimados (que chamamos de cinza grossa). Sabe-se que quanto maior a temperatura no óleo térmico mais gases passarão pelo aquecedor, e conseqüentemente mais cinzas grossas e com material orgânico em sua composição serão gerados.

A caldeira opera 24 horas por dia, tem a capacidade de produção de 90 t de vapor por hora, com um consumo de cerca de 45 t de biomassa por hora, porém cabe destacar que este consumo dependerá da umidade da biomassa, pois quanto maior a umidade menor o poder calorífico.

Ao total são produzidos cerca de 1200 t/mês de cinzas, sendo aproximadamente 8.000 kg/d (240 t/mês) de cinza grossa; e 32.000 kg/d (960 t/mês) da cinza fina.

Cerca de 700 t/mês é enviado para grameiras e reflorestamento visando sua incorporação em solo agrícola, e 500t/mês é recirculada e misturada a nova biomassa para ser requeimada. A distância do ponto de geração até as grameiras/reflorestamento é de cerca de 70 km por viagem.

Na Suécia, segundo Pitman (2006), a dose máxima permitida de disposição de cinzas de madeira no solo é de 3 toneladas por hectare.

Sendo assim é necessário levantar quanto gasto com transporte até seu uso na grameira. Considerando que o motorista teria um salário de R\$ 2500 no mês, que a carga máxima que consegue levar é de 32 toneladas por viagem, que usa diesel no caminhão o qual custa R\$ 3,40 o litro, que seu caminhão faz 1,9 km/L de diesel, que preciso levar 700 t/mês e a distância até o local é 70 km. Na FIGURA 75 tem uma base de cálculo de gasto com o transporte das cinzas para a grameira.

FIGURA 75 – CÁLCULO GASTO COM TRANSPORTE ATÉ GRAMEIRAS

- Carga máxima caminhão 32 t/viagem
- 1 mês geração 700 toneladas
- $700 / 32 = 21,87 \sim 22$  viagens de ida x 2 = 44 viagens ida e volta
  
- Caminhão faz 1,9 km por litro de diesel
- Distância 70 km empresa até grameira
- Necessário 36,842 litros ( 70km/1,9 km/litro)
- Se 1 litro de diesel é R\$ 3,40
- R\$ 3,40 por litro de diesel \* 36,842 litros = R\$ 125,26
  
- 1 viagem = R\$ 125,26 diesel
- são 44 viagens =  $44 * 125,26 = \text{R\$ } 5.511,44$
  
- Salário do funcionário = R\$ 2.500
  
- Total =  $5.511,44 + 2500 = \text{R\$ } 8.011,44$

#### 4.3.1.2 Lodo físico-químico

Na FIGURA 76 é apresentado o diagrama de entrada e saída da ETE na FIGURA 77 apresenta-se a ETE e o local de separação do lodo biológico e do lodo físico-químico.

FIGURA 76 – DIAGRAMA DE ENTRADAS E SAÍDAS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE

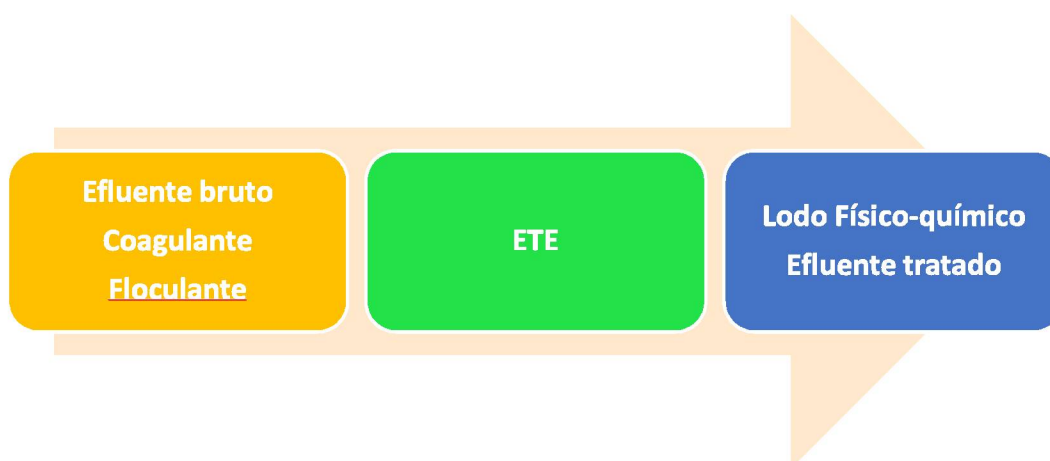


FIGURA 77 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE E SEPARAÇÃO DE LODO BIOLÓGICO E LODO FÍSICO-QUÍMICO



FONTE: A autora (2020)

As etapas de tratamento dos efluentes são as seguintes: resfriamento, homogeneização, tratamento físico-químico, equalização (efluente físico-químico e efluente sanitário), tratamento biológico (lodos ativados), decantação e desidratação de lodo.

O esgoto sanitário entra no início da estação, e a estação de tratamento de efluentes (ETE) funciona 24 horas por dia, sendo produzidos cerca de 22 m<sup>3</sup> de efluente final por hora, cerca de 13,3 t de lodo físico-químico por dia (400 t/mês) e aproximadamente 12 t de lodo biológico dia (360 t/mês). De acordo com o PGRS da empresa o lodo físico-químico é classificado como II A (não perigoso e não inerte) pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a). Anteriormente o lodo físico-químico era queimado na caldeira mas agora a intenção é destiná-lo a aterro classe 2 ou coprocessamento.

De acordo com informações fornecidas pela Essencis (empresa responsável por destino de resíduos industriais no Paraná e outros estados brasileiros) existem duas possibilidades de destinação do lodo físico-químico: destino a aterro Classe 2 e coprocessamento no qual seria gerado um blend e enviado para cimenteiras (Votorantin, Itambé ou Margem Suprema cimentos). Porém dois fatores importantes que impactam a viabilidade do destino é a umidade dos resíduos e seu poder calorífico superior (PSC). A umidade desse material é alta e o poder calorífico é baixo para lodos físico-químicos.

Klumb e Saiz (2018) informaram que o PCS de lodo de esgoto é de 20,1 MJ.kg<sup>-1</sup>, de lodo ativado é cerca de 15 MJ.kg<sup>-1</sup> e de lodos físico-químicos variam entre 7,1 a 11 MJ.kg<sup>-1</sup>, isto porque a adição de coagulantes e floculantes no efluente aumenta a quantidade de sólidos fixos o que influencia negativamente no poder calorífico, diferente de quando há flotação com produto orgânico na ETE que aumenta o poder calorífico do lodo devido a maior presença de compostos orgânicos. Apesar da empresa Essencis necessitar de uma amostra do resíduo para analisar o material e assim passar um orçamento definitivo, os valores médios dos destinos propostos seria de R\$ 250 por tonelada de resíduo para o aterro classe 2, e de R\$ 270 por tonelada de resíduo para destinar ao coprocessamento.

Um fator que deve ser considerado é a secagem prévia deste lodo a fim de que não seja pago para transportar e destinar “água”, para tal recomendar-se-ia desidratar ainda mais o lodo gerado. Uma opção seria instalar leitos de secagem na empresa. O leito de secagem é um processo simples e eficaz na desidratação do lodo. O lodo deve ser destinado a um reservatório, que pode ser feito em alvenaria ou fibra de vidro, e retido em uma superfície permeável. A umidade do lodo físico-químico nesse estudo foi de 23,23% (QUADRO 4) mesmo passando por um processo de desidratação na estação de tratamento de efluente (ETE). O valor estimado para tratar o efluente está em um custo R\$ 8,00/m<sup>3</sup> tratado e o valor gasto para dispor o lodo físico-químico em aterro Classe II é de R\$ 250 por tonelada de lodo.

Outro ponto a ser observado é o transporte até o local, que deve ser de responsabilidade da empresa geradora. Uma vantagem está na pequena distância entre o aterro da Essencis e a empresa de MDF, cerca de 5,3 km. Sobre o transporte seguem as mesmas informações vistas no resíduo de cinzas: considera-se que o motorista teria um salário de R\$ 2500 no mês, que a carga máxima que consegue levar é de 32 toneladas por viagem, que usa diesel no caminhão o qual custa R\$ 3,40 o litro, que seu caminhão faz 1,9 km/L de diesel, que preciso levar 400 t/mês de lodo físico-químico e a distância até o local é 5,3 km. Na FIGURA 78 tem uma base de cálculo de gasto com o transporte do lodo físico-químico até a empresa Essencis.

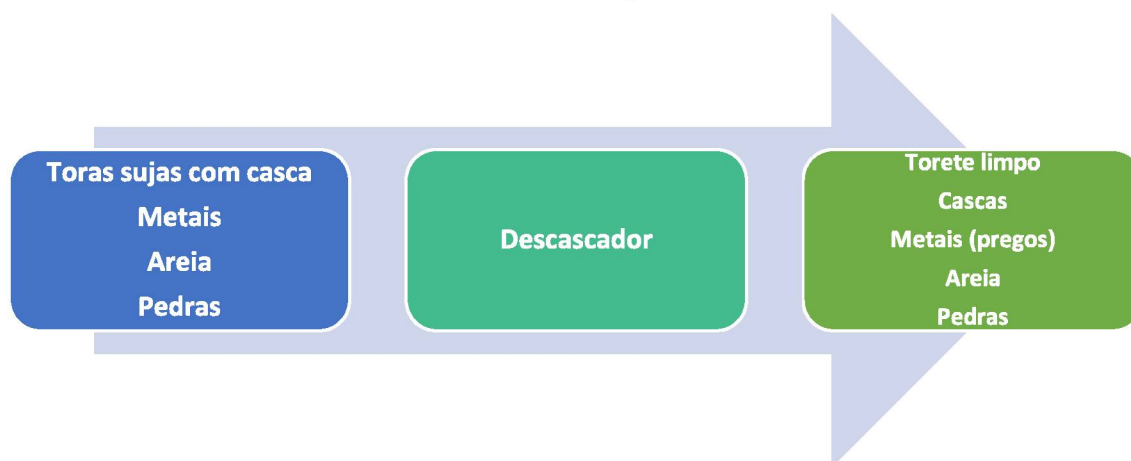
FIGURA 78 – CÁLCULO GASTO COM TRANSPORTE ATÉ ESSENCIS

- Carga máxima do caminhão 32 t/viagem
- 1 mês geração de 400 toneladas de lodo físico-químico
- $400 / 32 = 12,5$  viagens ~ 13 viagens \* 2 = 26 viagens ida e volta
  
- Caminhão faz 1,9 km por litro de diesel
- Distância 5,3 km empresa até essencis
- Necessário 2,78 litros (5,3/1,9 km/litro)
- Se 1 litro de diesel = R\$ 3,40
- R\$ 3,40 por litro de diesel \* 2,78 = R\$ 9,48
  
- 1 viagem = R\$ 9,48 de diesel
- são 26 viagens =  $26 * 9,48 = \text{R\$ } 246,58$
  
- Aterro classe 2 = R\$ 250 por tonelada de lodo
- são 400 toneladas ao mês =  $250 * 400 = \text{R\$ } 100.000$
  
- Salário do funcionário = R\$ 2.500
  
- Total =  $246,58 + 100.000 + 2.500 = \text{R\$ } 102.746,58$

#### 4.3.1.3 Areia

Na FIGURA 79 é apresentado o diagrama de entrada e saída da caldeira.

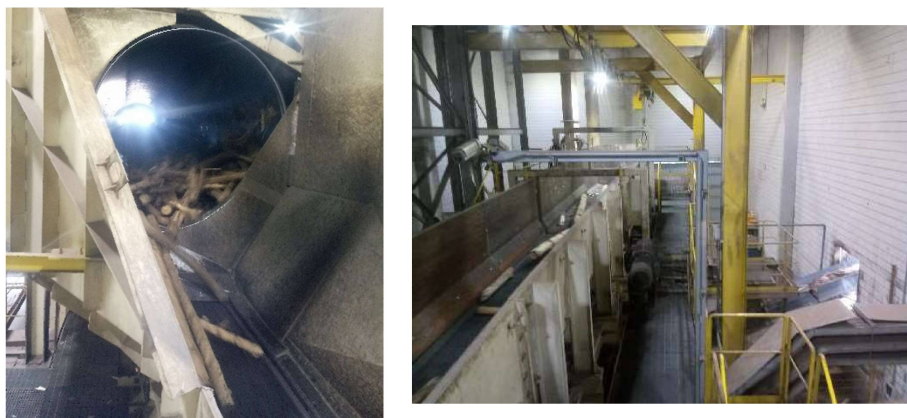
FIGURA 79 – DIAGRAMA DE GERAÇÃO DA AREIA



Na FIGURA 80 é apresentada a entrada e a saída do descascador, e na FIGURA 81 o imã para remoção dos metais (pregos).



FIGURA 80 – ENTRADA E SAÍDA DO DESCASCADOR



FONTE: A autora (2020)

FIGURA 81 – IMÃ PARA REMOÇÃO DOS METAIS (PREGOS)



FONTE: A autora (2020)

A areia é gerada após a saída do descascador, pois vem impregnada nas toras de madeira. O descascador funciona com 8 motores de 55kW. O tempo médio de funcionamento do descascador é de 18h/dia. Sobre o valor cobrado por tora de madeira tem-se que seria em R\$ 94,00/t por torete terceiro e R\$ 106,00/t por torete próprio. No processo produtivo é consumido cerca de 2.100 t/dia torete médio (14% casca + 1% oversize + 3% finos + 1% metais, pedras e areia) = 294 t/d de casca. A indústria não tem mensurado claramente a quantidade de metais e pedras que são recolhidas, mas devem corresponder a 1% junto com a areia. Não é utilizada água no

descascador e os metais agora são retirados com um imã. A geração de areia é de cerca de 4 t/dia (120 t/mês).

A areia é 100% doada para uma empresa que produz artefatos de concreto (Tubovan artefatos de cimento), tendo apenas o custo com o transporte até a empresa que fica cerca de 11,4 km do local de geração. Com relação aos gastos com o transporte seguem as informações já inseridas anteriormente para as cinzas e para o lodo físico-químico: considera-se que o motorista teria um salário de R\$ 2500 no mês, que a carga máxima que consegue levar é de 32 toneladas por viagem, que usa diesel no caminhão o qual custa R\$ 3,40 o litro, que seu caminhão faz 1,9 km/L de diesel, que preciso levar 120 t/mês de areia e a distância até o local é 11,4 km (FIGURA 82).

FIGURA 82 – CÁLCULO GASTO COM TRANSPORTE ATÉ A EMPRESA DE ARTEFATOS TUBOVAN

- Carga máxima do caminhão 32t/viagem
- 1 mês geração de 120 toneladas de areia
- $120 / 32 = 3,75 \sim 4$  viagens \* 2 = 8 viagens ida e volta
  
- Caminhão faz 1,9 km por litro de diesel
- Distância 11,4 km empresa até Tubovan
- Necessário 6 litros (11,4/1,9 km/litro)
- Se 1 litro de diesel = R\$ 3,40
- R\$ 3,40 por litro de diesel \* 6 = R\$ 20,40
  
- 1 viagem = R\$ 20,40 de diesel
- são 8 viagens =  $8 * 20,40 = \text{R\$ } 163,20$
  
- Salário do funcionário = R\$ 2.500
- Total =  $163,20 + 2.500 = \text{R\$ } 2.663,20$

A empresa Tubovan fabrica os seguintes materiais: lajotas, paver, tubos de concreto, blocos meio-fio, tampas, concregrama, grelha. Eles utilizam a areia para fazer o “ecopaver”, logo o termo “eco” é baseado no aproveitamento do material. Porém segundo informações da empresa, não há uma aceitação total do material quando reciclado, devido a presença de “pontos pretos no material”. Outro fator que influenciava negativamente o recebimento deste material, era a chegada da areia à empresa Tubovan com pregos, como evidenciado na FIGURA 33, e por isso a empresa de MDF inseriu um imã ao final do processo visando a retirada dos metais.

#### *4.3.2 Aplicação do modelo de desempenho ambiental (EPIP) para os resíduos e compósitos*

Após serem definidos o mapeamento dos processos, limite e unidade funcional ( $\text{m}^3$  MDF produzido por mês) da 1ª fase, os aspectos ambientais escolhidos foram inseridos no Excel conforme apresentado nos Apêndices.

Tendo em mãos os custos de massa, energia e operação conforme equipamentos geradores dos resíduos, e sabendo que não há gastos com custos de gestão (3º estágio), visto que esta foi a primeira implementação da ferramenta EPIP no processo industrial, foi possível inserir os dados obtidos na planilha do software Excel para aplicação do modelo EPIP. Sendo assim, foi possível realizar o 4º e 5º estágio de quantificação e ponderação do AICV.

No 4º estágio foi realizada a identificação de categorias de ambientais impactos por consumo e emissão de materiais e energia que estão relacionadas a cada aspecto ambiental, seguido da identificação de compostos e tipos de energia presentes no impacto categorias relacionadas a este aspecto ambiental. E no 5º estágio seria definido valores para as categorias de danos, podendo ser escolhidos pelo método AHP, por escala de importância de acordo com a escala de Saaty, pelo método Eco-indicador ou ainda era possível não usar a ponderação, como foi feita neste estudo (SAATY, 1980; DOMINGUES et al., 2015; HA et al., 2016; MACENO et al., 2018).

Após inseridos os dados na planilha excel, como apresentado nos Apêndices, chegou-se ao 6º estágio de análise dos resultados analíticos alcançados pela implementação da ferramenta EPIP. Foi possível obter o ranking de aspectos ambientais e com isso identificar itens de interesse para a o processo de tomada de decisão para obter melhorias ambientais por meio de ações para melhorar seu desempenho ambiental.

A análise de valoração dos compósitos gerados foi realizada com os CPs que obtiveram valores de resistência à compressão uniaxial de acordo com as normativas brasileiras utilizadas neste estudo, NBR 7.710 (ABNT, 1983) e NBR 6.136 (ABNT, 2006).



#### 4.3.2.1 Geração dos resultados da avaliação de desempenho ambiental

No QUADRO 8 são apresentados os processos, aspectos ambientais, as entradas de matérias prima e insumos e os resíduos levantados para a indústria de MDF referente apenas aos resíduos usados neste estudo (cinzas, lodo físico-químico e areia).

QUADRO 8 – LEVANTAMENTO DE PROCESSOS, ASPECTOS AMBIENTAIS, ENTRADAS E SAÍDAS / RESÍDUOS

ID	Processo/ Atividade	Aspecto Ambiental	Entradas	Saídas/Resíduos
AA01	Caldeira	Geração de cinza de queima em caldeira	Casca, água, cinza	Cinza
AA02	Caldeira	Geração de vapor	Casca, água, cinza	Vapor de água
AA03	Caldeira	Produção de água aquecida	Casca, água, cinza	Água aquecida
AA04	Caldeira	Geração de gases	Casca, água, cinza	Gases de queima
AA05	Caldeira	Geração de material particulado	Casca, água, cinza	Material particulado
AA06	Descascador	Geração de casca	Tora, areia, metais, pedra	Casca
AA07	Descascador	Geração de torete limpo	Tora, areia, metais, pedra	Torete limpo
AA08	Descascador	Geração de metais	Tora, areia, metais, pedra	Metais
AA09	Descascador	Geração de areia	Tora, areia, metais, pedra	Areia
AA10	Descascador	Geração de pedras	Tora, areia, metais, pedra	Pedras
AA11	ETE	Geração de lodo físico-químico	Efluente, coagulante e floculante	Lodo FQ úmido
AA12	ETE	Geração de efluente tratado	Efluente, coagulante e floculante	Efluente tratado
AAM01	Secagem	Geração de lodo seco	Lodo FQ úmido	Lodo seco
AAM02	Secagem	Geração de vapor de água	Lodo FQ úmido	Vapor de água
AAM03	Fabricação do tijolo	Geração do tijolo	Cinza, Lodo seco, areia, água	Tijolo

FONTE: A autora (2020)

Os dados de entrada levantados da indústria de MDF para utilização no cálculo dos custos de perda material (CPM) da equação da ferramenta EPIP (TABELA 2) são apresentados no QUADRO 9.

QUADRO 9 – DADOS DE ENTRADA DO MODELO EPIP PARA REALIZAÇÃO DO CÁLCULO DE CUSTOS DE PERDA MATERIAL (CPM) PARA A INDÚSTRIA DE MDF

ID	Un	Quantidade Total de entrada	Saídas/Resíduos	Quantidade total de saída ( $M_{OUT}$ )
AA01	t	1500	Cinza	1200
AA02	t	1500	Vapor de água	150
AA03	t	1500	Água aquecida	50
AA04	t	1500	Gases de queima	50
AA05	t	1500	Material particulado	50
AA06	t	1000	Casca	294
AA07	t	1000	Torete limpo	566
AA08	t	1000	Metais	10
AA09	t	1000	Areia	120
AA10	t	1000	Pedras	10
AA11	t	5152	Lodo FQ úmido	400
AA12	t	5152	Efluente tratado	660
AAM01	t	10	Lodo seco	4
AAM02	t	10	Vapor de água	6
AAM03	t	20	Tijolo	20

FONTE: A autora (2020)

Já os dados de entrada levantados desta indústria para a realização dos cálculos de Custos de Energia Consumida (CEC) e de Destino de Material (CDM) por meio das equações da TABELA 2 são apresentados no QUADRO 10.

**QUADRO 10 – DADOS DE ENTRADA DO MODELO EPIP PARA REALIZAÇÃO DOS CÁLCULOS DOS CUSTOS DE ENERGIA CONSUMIDA (CEC) E DOS CUSTOS DE DESTINO MATERIAL (CDM) PARA A INDÚSTRIA DE INDÚSTRIA DE MDF**

ID	CEC				CDM		
	CE (Kw.h)	CUE (\$/kW.h)	PE (%) (0-1)	CEC (\$)	Quantidade total de saída (M <sub>OUT</sub> ) em t	Tipo de destino (d)	Custo de destino (R\$/un)
AA01	200,00	0,6	0,800	96,00	1200	Transp e disposição externa sem tratamento	1200
AA02	200,00	0,6	0,100	12,00	150	NA	0,00
AA03	200,00	0,6	0,033	4,00	50	Reuso na indústria	50,00
AA04	200,00	0,6	0,033	4,00	50	NA	0,00
AA05	200,00	0,6	0,033	4,00	50	NA	0,00
AA06	440,00	0,6	0,294	77,62	294	Reuso na indústria	588,00
AA07	440,00	0,6	0,566	149,42	566	Reuso na indústria	1132,00
AA08	440,00	0,6	0,010	2,64	10	NA	0,00
AA09	440,00	0,6	0,120	31,68	120	Transp e disposição externa sem tratamento	120,00
AA10	440,00	0,6	0,010	2,64	10	NA	0,00
AA11	1000,00	0,6	0,078	46,58	400	Trat. na indústria com disp. externa	800,00
AA12	1000,00	0,6	0,922	553,42	4752	Trat. na indústria com disp. Externa	4752,00
AAM01	0,00	0,6	0,400	0,00	4	Trat. na indústria com disp. externa	8,00
AAM02	0,00	0,6	0,600	0,00	6	NA	0,00
AAM03	0,00	0,6	1,000	0,00	20	NA	0,00

FONTE: A autora (2020)

Com relação ao Custo de Gestão ambiental (CGA) não foram identificados investimentos da empresa no último ano, logo não houve custos de pesquisa e desenvolvimento.

A Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) também não foi aplicável para nenhum dos aspectos ambientais analisados. Por fim, é apresentado no QUADRO 11 o Custo Equivalente (CAA(n)) de cada aspecto ambiental analisado para a indústria de MDF.

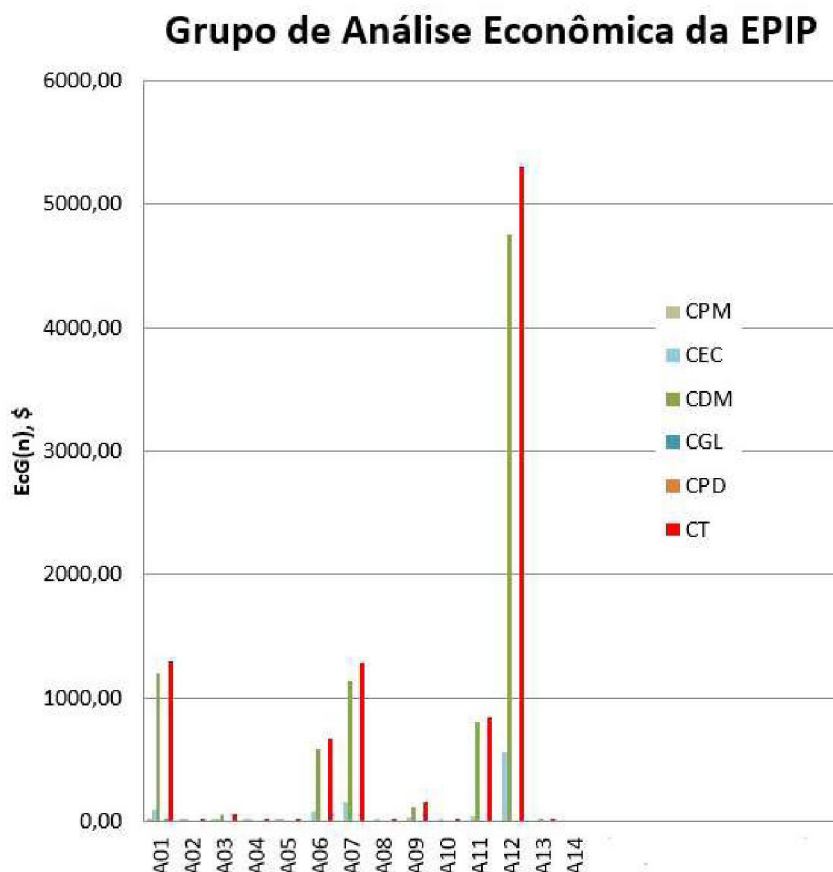
**QUADRO 11 – LEVANTAMENTO DE PROCESSOS, ASPECTOS AMBIENTAIS, ENTRADAS E SAÍDAS / RESÍDUOS**

<b>ID</b>	<b>Aspecto Ambiental</b>	<b>CPM (\$)</b>	<b>CEC (\$)</b>	<b>CDM (\$)</b>	<b>CGA (\$)</b>	<b>EcG (\$)</b>	<b>EnG (dim)</b>	<b>CAA (n) (\$<sub>EQ</sub>)</b>	<b>CAARel (n)</b>
AA01	Geração de cinza de queima em caldeira	1,00	96,00	1200	0,00	1297	6,28	8139,37	5,6886
AA02	Geração de vapor	0,10	12,00	0,00	0,00	12,10	0,00	0,01	0,00
AA03	Produção de água aquecida	2,60	4,00	50,00	0,00	56,60	0,26	14,80	0,0103
AA04	Geração de gases	1,00	4,00	0,00	0,00	5,00	0,26	1,31	0,0009
AA05	Geração de material particulado	13,0	77,62	0,00	0,00	17,00	0,00	0,01	0,00
AA06	Geração de casca	0,00	149,42	588,00	0,00	665,62	1,54	1027,97	0,7184
AA07	Geração de tórcido limpo	0,00	2,64	1132	0,00	1281,42	0,01	16,99	0,0119
AA08	Geração de metais	0,00	31,68	0,00	0,00	2,64	0,00	0,00	0,00
AA09	Geração de areia	0,00	2,64	120,00	0,00	151,68	0,00	0,43	0,0003
AA10	Geração de pedras	0,00	31,68	0,00	0,00	2,64	0,00	0,00	0,00
AA11	Geração de lodo físico-químico	0,00	2,64	800	0,00	846,58	2,10	1774,42	1,2401
AA12	Geração de efluente tratado	0,00	46,58	4752	0,00	5305,42	24,9	132106,1	92,3283
AAM01	Geração de lodo seco	0,00	553,42	8,00	0,00	8,00	0,20	1,60	0,0011
AAM02	Geração de vapor de água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
AAM03	Geração do tijolo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00

FONTE: A autora (2020)

Na FIGURA 83 é apresentada a resposta da ferramenta EPIP com os resultados de cada aspecto ambiental em relação aos custos por classes separadas.

FIGURA 83 – RESULTADOS OBTIDOS DOS CUSTOS PARA CADA ASPECTO AMBIENTAL PELA EPIP APLICADA A INDÚSTRIA DE MDF



**Nota:** Custos de Perda Material (CPM), Custo de Energia Consumida (CEC), Custo de Destino Material (CDM) e Custo de Gestão Localizada (CGL), Custo de Pesquisa (CPD) e Desenvolvimento e Custo Total (CT).

O custo que mais se destacou foi o Custo de Destino Material (CDM), e dentre os aspectos apresentados o maior foi para o A12 que se refere à geração de efluente tratado, visto que o volume gerado de efluente pela indústria é de 22 m³/h.

A ordem dos maiores impactos ambientais e econômicos dos aspectos levantados foi a seguinte: geração do efluente tratado, geração das cinzas, geração do torete limpo (descascador), geração do lodo físico-químico, geração da casca e geração da areia.

Meyer (2012) já realizou um trabalho referente a utilização do efluente gerado após novo tratamento por coagulação e floculação, visando seu reuso. E este trabalho enfocou na maior utilização das cinzas geradas mediante maior proporção deste resíduo nos compósitos em estudo.

Dentre os compósitos gerados todos os compósitos que estiveram dentro dos limites da legislação vigente poderão ser levados ao mercado, enfocando na condição mais favorável da análise custo x benefício.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resíduos da indústria de celulose (*dregs*, *grits* e lama de cal), de MDF (cinzas, areia e lodo físico-químico) e de cal (RPC) foram caracterizados química, física e morfológicamente pelas análises de DRX, FRX, PF, MEV-EDS e Mapeamento de elementos químicos.

Nos corpos de prova com a cinza não requeimada, ou seja, “in natura”, composições entre 40% e 45% de resíduos de cinza, 20% de resíduos de cal e sem resíduos de celulose, apresentaram os melhores resultados de resistência à compressão uniaxial, atingindo valores de 6,84 e 6,96 MPa aos 28 dias de cura, após sua confecção. Estes valores não apenas atendem as normas brasileiras para tijolos maciços e blocos de concreto de vedação, como excedem o valor mínimo requerido (1,5 e 2,0 MPa). Logo são apropriados para serem utilizados na construção civil, segundo as normas brasileiras NBR 7.710 (ABNT, 1983) e NBR 6.136 (ABNT, 2006).

Por outro lado, para os corpos de prova cuja composições utilizaram cinzas requeimadas, as melhores composições, ou seja, aquelas que alcançaram maiores valores de resistência mecânica foram os de nº 5 e nº 11. Para a composição nº 5, que utilizou resíduos das duas indústrias (MDF e celulose), a resistência mecânica foi de 7,63 MPa, aos 365 dias de cura. Enquanto a composição nº 11, na qual estavam presentes apenas os resíduos de MDF obteve, aos 365 dias de cura, a resistência mecânica de 15,32 MPa. Além disso, outras composições também atenderam as normas, e para definir qual deles seria mais vantajoso, a EPIP foi utilizada para auxiliar na tomada de decisão.

Além das análises de resistência à compressão uniaxial, dilatação, absorção de água, resistência à água, os novos compósitos foram ainda analisados quanto à formação de novas estruturas morfológicas e à interação físico-química dos componentes. Para tal, os compósitos com resistências mais elevadas (composição 5 e 11) foram analisados por DRX, MEV-EDS e mapeamento de elementos químicos. Estas análises puderam comprovar a formação de novas estruturas cristalinas que asseguram o aumento das resistências dos materiais. Devido a situação da pandemia pelo COVID-19, as análises complementares como permeabilidade, análises térmicas diferencial e gravimétricas, densidade e porosidade aparente não foram feitas em função dos laboratórios estarem fechados durante este período delicado.

Com relação aos ensaios de lixiviação e solubilização, as duas composições nº 5 e 11 avaliadas, foram classificadas como resíduo Classe II A (não perigoso e não inerte). Visto que a composição nº 11 apresenta a maior proporção de lodo físico-químico em sua composição seria interessante realizar estes ensaios em outras composições que tenham menor proporção e/ou ausência de lodo, bem como em novas composições cujo lodo gerado fosse resultante do uso de um coagulante não mineral e isento de metais ao invés do PAC no tratamento físico-químico do efluente.

A análise dos resíduos de MDF e dos melhores compósitos resultantes da aplicação do modelo matemático EPIP possibilitou a valoração dos resíduos utilizados e a análise do desempenho ambiental dos aspectos ambientais relacionados diretamente aos resíduos da indústria de painéis de MDF. Os aspectos que apresentaram maior impacto foram geração de efluente tratado, seguido da geração de cinzas.

Logo, conclui-se que, apesar das composições nº 5 e 11 serem caracterizadas como não inertes nos ensaios de solubilização, foi possível desenvolver um novo compósito para a construção civil, que atende as normas brasileiras referente as resistências do material NBR 7.170 (ABNT, 1983) e NBR 6.136 (ABNT, 2006), utilizando os resíduos da indústria de MDF, de celulose e de cal como matérias-primas. Também é possível afirmar que o uso da ferramenta analítica EPIP permitiu realizar uma análise aprofundada de valoração dos resíduos e do desempenho ambiental dos resíduos da indústria de MDF e dos compósitos gerados.

O aproveitamento de resíduos industriais é uma importante prática ambiental e de sustentabilidade, pois oferece uma nova destinação dos resíduos evitando possível disposição inadequada, além de lhe conferir valor agregado.



## 5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para complementação dos resultados obtidos neste estudo, são apresentadas algumas recomendações para trabalhos futuros:

- aplicar outras análises complementares de caracterização dos resíduos e dos corpos de prova confeccionados, como: ensaios de permeabilidade (NBR 10.786:2013), análises térmicas diferencial (ATD) e gravimétrica (ATG), e análises de densidade aparente e de porosidade aparente;
- realizar ensaios que avaliem patologias tais como Reação álcali-agregado (RAA) e degradação por enxofre visto sua finalidade e composição química dos resíduos utilizados;
- rever o tratamento físico-químico do efluente e readequar com outras combinações de coagulantes e floculantes além dos produtos tradicionais inserindo outros compostos não minerais e isentos de metais; ou ainda realizar novas composições sem o uso do lodo físico-químico a fim de verificar a partir de novos ensaios de lixiviação e solubilização se o material seria enquadrado na classificação II B da NBR 10.0004, não perigoso e inerte;
- alterar a produção de materiais com características de concreto para a confecção de cerâmica, e verificar se a queima dos corpos de prova em fornos realiza a inertização dos possíveis contaminantes presentes nas composições estudadas;
- produzir os corpos de prova em escala maior, como a piloto, com as composições aqui estudadas, como, por exemplo, blocos de concreto, “paivers” e blocos maciços; e avaliar suas propriedades mecânicas bem como sua viabilidade técnica e econômica;
- implantar as alternativas propostas e avaliar os resultados.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, T.N. **Kraft Recovery Boilers**. Tappi press, AF&PA, 1997.
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. New York: 21th Ed. 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.170**: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.738**: Concreto - Procedimento para Moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003a.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.453**: Cal virgem para a construção civil – requisitos. Rio de Janeiro, 2003b.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004d.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.001**: Sistema de Gestão Ambiental – requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2004e.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.211:** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.316:** Chapas de fibras de média densidade (painéis de MDF). Rio de Janeiro, 2009b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.097:** Solo – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.786:** Concreto endurecido – Determinação do coeficiente de permeabilidade. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.953:** Concreto para fins estruturais – classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.545:** Determinação da absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e massa aparente. Rio de Janeiro, 2017.

AMARAL, M. C. **Avaliação dos efeitos da incorporação de resíduo de lama de cal nas propriedades e microestrutura de uma mistura solo-cimento.** 100f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campo dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2013.

BENLALLA, A.; ELMOUSSAOUITI, M.; DAHHOU, M.; ASSAFI, M. 2015. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks. **Applied Clay Science**, v.118, p.171-177

BORGIO, S. C.; MYMRINE, V. Galvanic processes wastes recycling for producing of ceramic materials. **Resources, conservation & recycling**, v. 38, p. 137, 2007.

BRASIL. **Lei Federal n. 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 ago. 2010.

BUZZINI, A. P.; PIRES, E. C. Evaluation of a upflow anaerobic sludge blanket reactor with partial recirculation of effluent used to treat wastewaters from pulp and paper plants. **Bioresource Technology**, n. 98, p. 1838–1848, 2007.

CABRAL, F.; RIBEIRO, H.M.; HILÁRIO, L.; MACHADO, L.; VASCONCELOS, E. Use of pulp mill inorganic wastes as alternative liming materials. **Bioresource**

**Technology**, v. 99, p. 8294–8298. 2008.

CAMPREGHER, N. **Estudo de viabilidade da incorporação do lodo da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel, celulose e aparas em material cerâmico**. 2005. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PENQ0173.pdf>>.

CASAGRANDE, M.N. **Efeito da adição de chamote e semi-greisificado no comportamento físico de massa cerâmica para pavimento**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2002.

CENDOFANTI, A. C. **Minimização de resíduos de uma fábrica de carvão ativado e de goma resina**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CERCAL, S. R. **Proposição de modelo matemático de seleção de prioridades de minimização de resíduos industriais**. 78 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

CHIH-HUANG W.; DENG-FONG L.; PEN-CHI C. Utilization of sludge as brick materials. **Advances in environmental research**, 2003.

CORREIA, S. M. **Compósito à base de resíduos de concreto e resíduos de produção de cal**. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

DEIF, A. M. A system model for green manufacturing. **Journal of Cleaner Production**. v. 9, n. 14, p. 1553-1559, 2011.

DOMINGUES, A. R., MARQUES, P., GARCIA, R., FREIRE, F., DIAS, L. C. Applying multicriteria decision analysis to the life-cycle assessment of vehicles. **Journal of Cleaner Production**. v.107, p. 749-759, 2015.

DUARTE, L. C., JUCHEM, P. L, PULZ, G. M; BRUM, T. M. M. de, CHODUR, N; LICCARDO, A.; FISCHER, A. C.; ACAUAN, R. B. Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos brasileiros. **Pesquisas em Geociências**. 3-15p. Porto Alegre: 2003.

EPA – Environmental Protection Agency. **Waste minimization opportunity assessment manual**. Ohio: EPA. 96p. 1988.

FOELKEL, C. Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose Kraft de Eucalipto. **Parte 05: Resíduos Minerais**. ABTCP, 2011. Disponível em: <[http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT25\\_Residuos Minerais.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT25_Residuos%20Minerais.pdf)>.

FREAS, R. C. Lime. In: **Industrial Minerals and Rocks**. Donal D. Carr (Senior Editor), Society of Mining, Engineers, Littleton, Colorado. 1994.

GASPARETO, M. G. T.; TEIXEIRA, S. R. Utilização de Resíduo de Construção Civil e Demolição (RCD) como Material não Plástico para a Produção de Tijolos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v.22, n.2, p. 40-46, 2017.

GEA WIEGAND. **Industrial effluents – Paper industry**. 2016. Disponível em: <<https://www.gea.com/en/environment/industrial-effluents/paper.jsp>>

GEMELLI, E.; CAMARGO, H. A. C.; BRESCANSIN, J. Evaluation of paper industry wastes in construction material. **Materials Research**. v. 4, n.4, 297-304, 2001.

GILBERT, M. J. **ISO 14001/BS 7750**. Sistema de gerenciamento ambiental. São Paulo: IMAM, 1995.

GLUITZ, A. C.; MARAFÃO, D. **Utilização da cinza da madeira de eucalipto na substituição parcial do cimento Portland em argamassa**. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco-PR, 2013.

HA, C., ZAINON, Z., HALILU, A., HUSSEIN, N. **An Alternative Aggregation Method for a Life Cycle Impact Assessment Using an Analytical Hierarchy Process**, v. 112, p. 3244-3255, 2016.

HUBER TECHNOLOGY. **Wastewater solutions**. 2017. Disponível em: <<http://www.hubertechnology.com/>>.

IAP – INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Resolução SEMA nº 042/08** – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Disponível em: <[http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao\\_ambiental/Legislacao\\_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO\\_SEMA\\_42\\_2008\\_QUEIMA\\_RESIDUOS\\_CALDEIRAS.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO_SEMA_42_2008_QUEIMA_RESIDUOS_CALDEIRAS.pdf)>.

IBA – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual de 2016**. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2016\\_.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf)>.

IBA – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual de 2017**. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2017.pdf>>.

IBA – Indústria Brasileira de Árvores. **Sumário Executivo de 2018**. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo-2018.pdf>>.

IGARI, A. T.; PELA, S.; MANTOVANI, M.; FERREIRA, Z. Mudanças climáticas e o setor de Papel e Celulose no Brasil. **Mitigação de gases de efeito estufa: A**

**experiência setorial e regional no Brasil.** 2009. Disponível em: <[http://www.usp.br/mudarfuturo/2009/pdf/09\\_05\\_22\\_cap3.pdf](http://www.usp.br/mudarfuturo/2009/pdf/09_05_22_cap3.pdf)>.

KIZINIEVIC, O; KIZINIEVIC, V.; BORIS, R.; GIRSKAS, G.; MALAISKIENE, J. Eco-efficient recycling of drinking water treatment sludge and glass waste: development of ceramic bricks. **Journal of Material Cycles and Waste Management.** v.20, p.1228-1238, 2018.

KLUMB, A. K.; SAINZ, R. L. Caracterização de lodo ativado e lodo físico-químico de estação de tratamento de efluentes de indústrias de arroz parabolizado e de laticínios para geração de energia térmica. **Revista brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v.5, p.677-689, 2018.

LEITE, B.Z. **Minimização de resíduos em uma indústria de alimentos da Região Metropolitana de Curitiba.** 177 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

LEITE, B.Z; PAWLOWSKY, U. Metodologia de minimização de resíduos. **Brasil Alimentos.** Ano III, nº 14. São Paulo: julho 2002. p. 31-36.

LIMA, E. de S. **Uso de Resíduos de Papel e Celulose em Plantios De Eucalipto.** Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. 2014. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/3185066/>>.

LOUZADA, D. M.; BIZINOTO, M. B.; RAMONICH, E. V. Ativação de escórias com resíduos de celulose. São Paulo, SP: ABTCP-PI, 2009. **Anais...** 42º Congresso e Exposição Internacional de Celulose e Papel, de 26 a 29 de outubro de 2009. Transamérica Expo Center, São Paulo, Brasil.

MACENO, M. M. C. **EPIP – Ferramenta Analítica de Desempenho Ambiental em Processos Industriais: Desenvolvimento e Aplicações.** 211f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MACENO, M. M. C.; PAWLOWSKY, U.; MACHADO, K. S.; SELEME, R. Environmental performance evaluation – A proposed analytical tool for an industrial process application. **Journal of Cleaner Production.** v. 172, p. 1452-1464, 2018.

MAGALHÃES, J. M.; SILVA, J. E.; CASTRO, F. P.; LABRINCHA, J. A. Effect of experimental variables on the inertization of galvanic sludges in clay-based ceramics. **Journal of Hazardous Materials**, v.106, n.2-3, p. 139-147, 2004.

MAGALHÃES, F. C. **Concreto de cimento Portland – especificações e ensaios.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul.

2019

Disponível

em:

<[http://academico.riogrande.ifrs.edu.br/~fabio.magalhaes/mat\\_construcao\\_arquivos/Apostilas/concreto\\_especificacoes.pdf](http://academico.riogrande.ifrs.edu.br/~fabio.magalhaes/mat_construcao_arquivos/Apostilas/concreto_especificacoes.pdf)>.

MAMOUNE, A.; YASSINE, A. Creating an Inductive Model of Industrial Development with Optimized Flows for reducing its Environmental Impacts. **Energy Procedia**. v. 6, p. 396-403, 2011.

MANSKINEN, K.; NURMESNIEMI, H.; PÖYKIÖ, R. Total and extractable non-process elements in green liquor dregs from the chemical recovery circuit of a semichemical pulp mill. **Chem. Eng. J**, n.166, p. 954–961, 2011.

MARTINS, F. M. **Caracterização química e mineralógica de resíduos sólidos industriais minerais do Estado do Paraná**. 154 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

MARTINS, F. M.; MARTINS, J.M.; FERRACIN, L.C.; CUNHA C.J. Mineral phases of green licor dregs, slaker grits, lime mud and wood ash of a Kraft pulp and paper mill. **Journal of Hazardous Materials**, v. 147, p. 610-617. 2007.

MENEZES R. R.; ALMEIDA, R. R.; SANTANA, L. N. L.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Utilização do resíduo do beneficiamento do caulim na produção de blocos e telhas cerâmicos Estrutura, Propriedades e Materiais. **Revista Matéria**, v.12, n.1, p. 226-236, 2007.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. PINI. São Paulo, 1994.

MINE, J. H. Aplicação de lodo de estação de tratamento de água e de resíduos de fundição na composição de cerâmicas. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Anuário estatístico do setor de transformação de não metálicos**. 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732813/ANUÁRIO+NÃO-METALICOS+2017+27.03.2018.pdf/d20dce50-bfe8-4718-8924-129038887835>>.

MONTEIRO, S. N.; ALEXANDRE, J.; MARGEM, J. I.; SÁNCHEZ, R.; VIEIRA, C. M. F. Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic. **Construction and Building Materials**, v.22, p.1281-1287, 2008.

MORAIS, A. A. **Uso de ozônio como pré e pós-tratamento de efluentes da indústria de celulose Kraft branqueada**. 2006. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

MOREIRA, M.S. **Estratégias e implantação do sistema de gestão ambiental (Modelo ISO 14001)**. 1ª Ed. De Desenvolvimento Gerencial. Belo Horizonte-BH, 2001.

MORI, A. Conversando com Alberto Mori sobre os Papéis dos Eucaliptos: papéis decorativos. **Eucalyptus online book & newsletter**, nº 14. Porto Alegre: Graus Celsius, abril 2008. Disponível em <[http://www.eucalyptus.com.br/newspt\\_abril08.html#oitohtml](http://www.eucalyptus.com.br/newspt_abril08.html#oitohtml)>.

MYMRIN, V.; MEYER, S. A. S.; ALEKSEEV, K. P.; PAWLOWSKY, U.; FERNANDES, L. H.; SCREMIM, C. B.; CATAI, R. E. Manufacture of a construction material using the physicochemical properties of ash and sludge wastes from MDF board production. **Construction and Building Materials**, v. 50, p.184-189, 2014.

MYMRIN, V.; SOLYON, G. J. P.; PAWLOWSKY, U.; ALEKSEEV, K. P.; ZELINSKAYA, E. V.; TOLMACHEVA, N. A.; RIBAS, H. E.; CATAI, R. E.; ROMANO, C. A. Structure formation processes of composites on the base of ink rejected sludge. **Construction and Building Materials**, v. 102, p.141-148. 2016.

MYMRIN, V.; ALEKSEEV, K. P.; FORTINI, O. M.; CATAI, R. E.; NAGALLI, A.; RISSARDI, J. L.; MOLINETTI, A.; PEDROSO, D. E.; IZZO, R. L. S. Water cleaning sludge as principal component of composites to enhance mechanical properties of ecologically clean red ceramics. **Journal of Cleaner Production**, v.145, p.367-373. 2017.

MYMRIN, V.; PRESOTTO, P.; ALEKSEEV, K. AVANCI, M. A. ; ROLIM, P.H.B.; PETUKHOV, V.; TASKIN, A.; GIDARAKOS, E.; VALOUMA, A.; YU, G. Application of hazardous serpentine rocks extraction wastes in composites with glass waste and clay-sand mix to produce environmentally clean construction materials. **Construction and Building Materials**, v. 234, p. 117319, 2020.

MYMRINE, V.; CUSMA, D.F.; NAGALLI, A.; PICHORIM, A.; CATAI, R.E.; PAWLOWSKY, U. New compositions of the materials from cellulose industry wastes. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 18, p. 2007-2017, 2016.

NAGATA, N; BUENO, M.I.M.S; PERALTA-ZAMORA, P.G. Métodos matemáticos para correção de interferências espectrais e efeitos interelementos na análise quantitativa por fluorescência de raios-x. **Química Nova**, Vol. 24, No. 4, 531-539, 2001.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. Tradução Salvador E. Giamusso. 2a edição. São Paulo: PINI, 1997.



OLIVEIRA, T. V. S. **Estudo de Testes de Lixiviação aplicados aos Resíduos perigosos solidificados/estabilizados com cimento**. 165 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

OLIVEIRA, G. E.; HOLANDA, J. N. F. Reaproveitamento de resíduo sólido proveniente do setor siderúrgico em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, n.50, p.75-80, 2004.

PAULA G. R.; QUINTEIRO E.; BOSCHI A. O. Efeito do teor de umidade e da pressão de prensagem sobre as características de revestimento cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, 2(3/4) maio/agosto (1997).

PAWLOWSKY, U. **Reaproveitamento de resíduos industriais**. Notas de aula Disciplina de Tecnologia Limpa. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná, 105p., 2010.

PEDROSO, C. L.; PEDROSO, D. E.; MYMRINE, V.; ALEKSEEV, K.; LIMA, E. P. Resistência à compressão axial dos resíduos da produção de celulose, concreto e cal. **Anais... VI ConBrep - VI Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**. Ponta Grossa, 2017.

PELEGRINO, E.C.F. **Emprego de coagulante a base de tanino em sistema de pós-tratamento de efluente de reator UASB por flotação**. 161f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

PERA, J., AMBROISE, J. Recycling of paper sludge in building materials. **Proceedings of the Construction and Environment: Theory into Practice**. São Paulo, SP: Brazil, 2000, Nov. 23-24, 113.

PERAZZO, A. R. F.; ENEDINO, T. R.; LIMA, M. A.; MELO, E. E. C. Reciclagem do lixo. **Revista extensão e sociedade**, v.5, n.3, 2011.

PEREIRA, L. dos S.; FERREIRA, G. E. A Indústria da Cal no Brasil. **Anais... XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM**. 2009. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/500/1/27-Luana%20dos%20Santos%20Pereira.pdf>>.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 12ª edição. Editora Globo, 1993.

PRIM, E. C. C.; CHERIAF, M.; CASTILHOS JR., A. B.; ROCHA; J. C.; LUZ, C. A. Valorização do lodo da indústria têxtil como material de construção civil utilizando a

técnica de solidificação/ estabilização com cimento. **Anais... XXVI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.** Lima, Peru, 1998.

PICON, C. A.; ALMEIDA, E. F.; OLIVEIRA, N.T.C.; GUASTALDI, A.C. Caracterização de superfícies de titânio irradiadas com laser nd: yag e depositadas com hidroxiapatita. Foz do Iguaçu, 2006. **Anais... 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais.**

PALERMO, G. C. **Hierarquia de prioridade para o gerenciamento de resíduos sólidos na União Europeia.** 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/Figura-11-Hierarquia-de-prioridade-para-o-gerenciamento-de-residuos-solidos-na-Uniao\\_fig4\\_318859013](https://www.researchgate.net/figure/Figura-11-Hierarquia-de-prioridade-para-o-gerenciamento-de-residuos-solidos-na-Uniao_fig4_318859013)>.

PNUMA - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). Convenção da Basileia. Diretrizes Técnicas. **Orientações Técnicas Sobre o Coprocessamento Ambientalmente Saudável de Resíduos Perigosos em Fornos de Cimento.** 2012

RAMACHANDRAN, V. S. **Handbook of analytical techniques in concrete science and technology: Principles, Techniques, and Applications.** Edited by V. S. Ramachandran and James J. Beaudoin. Norwich, New York, U.S.A, 2001. 963 p. ISBN 0-8155-1437-9. Disponível em: <[http://sci-lib.org/books\\_1/R/ramachandran.pdf](http://sci-lib.org/books_1/R/ramachandran.pdf)>.

RIBEIRO, A. P. **Avaliação do uso de resíduos sólidos inorgânicos da produção de celulose em materiais cerâmicos.** 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

RIBEIRO, R. A. C. **O processo produtivo da indústria de painéis de MDF.** 2017. Disponível em: <[www.berneck.com.br](http://www.berneck.com.br)>.

ROBERT, K. H.; SCHMIDT-BLEEK, B.; ALOISI DE LARDEREL, J.; BASILE, G.; JANSEN, J. L.; KUEHR, R.; PRICE THOMAS, P.; SUZUKI, M.; HAWKEN, P. WACKERNAGEL, M. Strategic sustainable development: selection, design and synergies of applied tools. **Journal of Cleaner Production.** n. 47, p. 197-214, 2002.

RODRIGUES, L. R.; FRANCISCO, M. A. C. O.; SAGRILLO, V. P. D.; LOUZADA, D. M.; ENTRINGER, J. M. S. Caracterização de resíduos sólidos da indústria de celulose tipo Kraft visando sua aplicação no desenvolvimento de materiais cerâmicos. **Anais... 22º CBECiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais,** Natal, RN, 2016.

SAATY, T.L. **The Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting,**

**Resource Allocation.** McGraw Hill, New York. 1980.

SAHOO, D. K.; GUPTA, R. Evaluation of ligninolytic microorganisms for efficient decolorization of a small pulp and paper mill effluent. **Process Biochemistry**, v. 40, p. 1573-1578, 2005.

SEIFFERT, M.E.B. **Sistemas de Gestão Ambiental (SGA – ISO 14001): Melhoria contínua e produção mais limpa na prática e experiência de 24 empresas brasileiras.** 1ª Ed. Ed. Atlas. São Paulo-SP, 2011.

SILVA, C.R. **Cais Aditivadas com Pozolanas e Cimento Portland**, Dissertação de Mestrado, CCT/DEQ/UFPB, Campina Grande-PB, 1992.

SILVA, M. B. de L. **Novos materiais à base de resíduos de construção e demolição (RCD) e resíduos de produção de cal (RPC) para uso na Construção Civil.** 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SILVA, P. P. **Avaliação do cromo contido em resíduo sólido de laboratório e materiais solidificado e estabilizado para confecção de blocos.** 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

SIQUIRJ – Sindicato da Indústria de Produtos Químicos para fins Industriais do Estado do Rio de Janeiro. **Logística Reversa e Economia Circular.** 2019. Disponível em: <<https://siquirj.com.br/logistica-reversa-e-economia-circular/>>.

SOUZA, L. C.; MOUNTEER, A. H.; SILVA, C. M.; DALVI, L. C. Estudo da Remoção Biológica da DQO Recalcitrante de Efluente de Branqueamento de Polpa Kraft de Eucalipto. **Anais... 35º Congresso e Exposição Anual de Celulose e Papel.** São Paulo, Brasil, 2002.

TANTAWY, M. A.; MOHAMED, R. S. A. Middle Eocene clay from Goset Abu Khashier: Geological assessment and utilization with drinking water treatment sludge in brick manufacture. **Applied Clay Science.** v.138, p.114-124, 2017.

TORQUATO, L. P.; IWAKIRI, S.; BONDUELLE, G. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C. MATOS, J. L. M. M. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de painéis de fibras de média densidade (MDF) produzidos pelas indústrias brasileiras. **Revista Floresta**, v. 40, n.2, 2010.

TORRES, M. M.; CHRISTOFOLETTI, S. R.; SARDINHA, D. DE S.; GODOY, L. H. Análise geoquímica de rochas sedimentares argilosas a partir do conteúdo dos

elementos maiores, perda ao fogo e difração de raios X. **Geociências**, v. 37, n. 1, p. 39-53. 2018.

UNEP – United Nations Environmental Programme. **Environmental Agreements and Cleaner Production: questions and answers**. UNEP: Division of Technology, Industry & Economics, 28p. 2006. Disponível em: <<http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx0833xPA-EnvAgreementsEN.pdf>>.

USGS. **Mineral Commodity Summaries**. 2016. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>>.

VICTORIA, A. N. Characterisation and performance evaluation of water works sludge as bricks material. **International Journal of Engineering and Applied Sciences**. v.3, n.3, p.69-79, 2013.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte, v. 2,3. Ed.: SEGRAC, 452p., 2005.

WIEMES, L. **Minimização de resíduos no processo de pintura da indústria automotiva**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

WASTOWSKI, A. D.; DA ROSA, G. M.; RIGON, J. P. G.; CHERUBIN, M. R. Determinação dos níveis de metais em solo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Anais... XVII SBQSUL - Desafios em Química Tecnológica e Ambiental**, 2009, Rio Grande - RS. XVII Encontro de Química da Região Sul (17SBQSul). Rio Grande: FURG, 2009.

WOLFF, E.; SCHWABE, W. K.; CONCEIÇÃO, S. V. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p.282-289, 2015.

WU, J.; XIAO, Y. Z.; YU, H. Q. Degradation of lignin in pulp mill wastewaters by white-rot fungi on biofilm. **Bioresource Technology**, v. 96, p. 1357-1363, 2005.

XAVIER, C. R. **Influencia de la tecnología de tratamiento en la eliminación de fitoesteroides contenidos en efluentes de celulosa Kraft y en la toxicidad de estos compuestos en organismos acuáticos**. Tese de Doutorado. Centro de Ciencias Ambientais – EULA. Universidad de Concepción, Chile, 2006.

YANG, C.L.; HUANG, R.H.; WUANG, M.S.; CHEN, Y.C. Implementing a green manufacturing system based on a novel assessment model. **Industrial Engineering and Engineering Management**. p. 1678 – 1682, 2010.

**APÊNDICE 1 – LAUDOS DO LAMIR**



**LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS**

Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

**CERTIFICADO DE ANÁLISE**

Nº. 2018 452 FRX 01

<b>Análise solicitada:</b> Análise química semiquantitativa total por espectrometria de fluorescência de raios X, amostra "tal qual".		
<b>Equipamento:</b> Espectrômetro PANalytical Axios Max.		
<b>Solicitante:</b> Berneck S. A. Painéis e Serrados	<b>Data de entrada:</b>	17/10/2018
	<b>Data de emissão:</b>	08/11/2018
<b>Identificação da(s) amostra(s) pelo solicitante:</b> Cinza		<b>Nº LAMIR:</b> 452/18 01

**Composição Química:**

Amostra 452/18 01	SiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	MgO (%)	MnO (%)
	66,5	6,8	6,2	3,1	2,4	1,7	1,2	0,5	0,2
	SO <sub>3</sub> (%)	ZrO <sub>2</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	CuO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	Rb <sub>2</sub> O (%)	P.F. (%)	
	0,2	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	11,04	

- P.F. = Perda ao fogo
- Resultados normalizados para 100 %

Obs.: A análise semiquantitativa possui certo caráter subjetivo e interpretativo. São aceitáveis variações na ordem de  $\pm 10$  % nas concentrações indicadas acima, assim como falsas indicações positivas e/ou negativas de elementos em baixas concentrações (traços).

- FINAL DO CERTIFICADO -

## LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS

Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

### CERTIFICADO DE ANÁLISE

Nº. 2018 452 FRX

<b>Análise solicitada:</b> Análise química semiquantitativa total por espectrometria de fluorescência de raios X, pó prensado.	
<b>Equipamento:</b> Espectrômetro PANalytical Axios Max.	
<b>Solicitante:</b> Berneck S. A. Painéis e Serrados	<b>Data de entrada:</b> 17/10/2018
	<b>Data de emissão:</b> 07/11/2018
<b>Identificação da(s) amostra(s) pelo solicitante:</b> Lodo Físico-Químico Areia Dregs Grits Lama de cal	<b>Nº LAMIR:</b> 452/18 02 452/18 03 452/18 04 452/18 05 452/18 06

#### Composição Química:

Amostra 452/18 02	CaO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
	7,3	2,9	1,3	1,2	0,8	0,3	0,2	0,1
	MnO (%)	Cl (%)	K <sub>2</sub> O (%)	SrO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	ZnO (%)	P.F. (%)	
	0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	85,48	

Amostra 452/18 03	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	K <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
	52,3	12,6	7,8	6,7	2,6	2,3	1,2	1,2	0,6	0,5
	MnO (%)	ZnO (%)	ZrO <sub>2</sub> (%)	BaO (%)	CuO (%)	Cl (%)	SrO (%)	Rb <sub>2</sub> O (%)	P.F. (%)	
	0,2	0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	11,63	

Amostra 452/18 04	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	MgO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SrO (%)
	37,0	8,1	4,7	3,5	1,7	1,4	1,1	0,9	0,2
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	ZnO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	NiO (%)	Cl (%)	P.F. (%)	
	0,2	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	40,93	

PÁGINA 1 de 2

*OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.*

Responsável Técnico:

Coordenadora Técnica:

**LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS**

Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

**CERTIFICADO DE ANÁLISE**

Nº. 2018 452 FRX

Amostra 452/18 05	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
	53,9	3,0	2,3	1,2	0,7	0,5	0,4
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SrO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	MnO (%)	Cl (%)	P.F. (%)	
	0,3	0,2	0,1	< 0,1	< 0,1	37,34	

Amostra 452/18 06	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SrO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	K <sub>2</sub> O (%)	P.F. (%)
	53,7	0,9	0,8	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	< 0,1	43,52

- P.F. = Perda ao fogo
- Resultados normalizados para 100 %

Obs.: A análise semiquantitativa possui certo caráter subjetivo e interpretativo. São aceitáveis variações na ordem de  $\pm 10$  % nas concentrações indicadas acima, assim como falsas indicações positivas e/ou negativas de elementos em baixas concentrações (traços).

- FINAL DO CERTIFICADO -

**PÁGINA 2 de 2**

***OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.***

Responsável Técnico:

Coordenadora Técnica:





UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS**

Caixa Postal 19062 • 81.531-980 • Curitiba – PR • Tel. (41) 3361-3281 • Fax (41) 3361-3671 • www.lamir.ufpr.br • lamir@ufpr.br

**CERTIFICADO DE ANÁLISE**

Nº. 2019 212 FRX

**Análise solicitada:**

Análise química semiquantitativa total por espectrometria de fluorescência de raios X, pó prensado.

**Equipamento:** Espectrômetro PANalytical Axios Max.**Solicitante:** Berneck S. A. Painéis e Serrados**Data de entrada:** 06/08/2019**Data de emissão:** 13/09/2019**Identificação da(s) amostra(s) pelo solicitante:**

Cinza

**Nº LAMIR:**

212/19

**Composição Química:**

Amostra 212/19	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)
	45,0	18,1	11,0	6,8	5,1	3,1	2,1	1,6	1,3
	Na <sub>2</sub> O (%)	MnO (%)	Cl (%)	BaO (%)	SrO (%)	ZnO (%)	ZrO <sub>2</sub> (%)	Rb <sub>2</sub> O (%)	P.F. (%)
	1,0	0,6	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	< 0,1	3,45

- P.F. = Perda ao fogo
- Resultados normalizados para 100 %

Obs.: A análise semiquantitativa possui certo caráter subjetivo e interpretativo. São aceitáveis variações significativas nas concentrações indicadas acima, assim como falsas indicações positivas e/ou negativas de elementos em baixas concentrações (traços).

- FINAL DO CERTIFICADO -

**PÁGINA 1 de 1**

*OS RESULTADOS ANALÍTICOS REFEREM-SE APENAS ÀS AMOSTRAS ANALISADAS PELO LAMIR. REPRODUÇÕES DEVEM SER TOTAIS, REFERENCIANDO O NÚMERO DO CERTIFICADO. ESTA VIA ORIGINAL SÓ TEM VALIDADE QUANDO ACOMPANHADA DA CHANCELA DO LAMIR E RUBRICAS DO RESPONSÁVEL TÉCNICO E DO COORDENADOR DO LABORATÓRIO.*

Responsável Técnico:

Coordenador:

**APÊNDICE 2 – LAUDOS DO TECLAB**



**TECLAB**<sup>®</sup>  
Tecnologia em Análises Laboratoriais

Solicitante: <b>STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
Endereço: <b>RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
Local de Coleta: <b>UFPR</b>	Data de Recebimento: <b>22/09/2020 12:00</b>
Ponto de Coleta: <b>P5</b>	Condições do Tempo: <b>NUBLADO</b>
Tipo de Amostra: <b>RESÍDUO SÓLIDO</b>	Tipo de Amostragem: <b>PONTUAL</b>
Data e Hora de Coleta: <b>22/09/2020 11:30</b>	Amostrador: <b>CLIENTE</b>
Observações: ----	

**RELATÓRIO DE ENSAIO 00123813**

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

**RESULTADOS PARA O EXTRATO SOLUBILIZADO**

Arsênio	< 0,01	± 8,2%	mg As.L <sup>-1</sup>	0,01	0,01	SM 3111
Bário	< 0,50	± 6,0%	mg Ba.L <sup>-1</sup>	0,50	0,7	SM 3500-Ba
Cádmio	< 0,005	± 0,93%	mg Cd.L <sup>-1</sup>	0,005	0,005	SM 3500-Cd
Chumbo	< 0,005	± 2,5%	mg Pb.L <sup>-1</sup>	0,005	0,01	SM 3500-Pb
Cromo	< 0,05	± 1,0%	mg Cr.L <sup>-1</sup>	0,05	0,05	SM 3500-Cr
Mercúrio	< 0,001	± 10%	mg Hg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,001	SM 3111
Prata	< 0,005	± 0,93%	mg Ag.L <sup>-1</sup>	0,005	0,05	SM 3500-Ag
Selênio	< 0,01	± 6,4%	mg Se.L <sup>-1</sup>	0,01	0,01	SM 3111
Manganês	0,150	± 0,9%	mg Mn.L <sup>-1</sup>	0,005	0,1	SM 3500-Mn
Ferro	10,70	± 0,92%	mg Fe.L <sup>-1</sup>	0,03	0,3	SM 3500-Fe
Cobre	0,034	± 2,5%	mg Cu.L <sup>-1</sup>	0,005	2,0	SM 3500-Cu
Alumínio	13,50	NE	mg Al.L <sup>-1</sup>	0,02	0,2	ISO 10566 E30
Sódio	260,0	± 5,9%	mg Na.L <sup>-1</sup>	5,0	200	SM 3500-Na/B
Zinco	0,500	± 1,0%	mg Zn.L <sup>-1</sup>	0,005	5,0	SM 3500-Zn
Fluoretos	6,80	± 4,9%	mg F.L <sup>-1</sup>	0,10	1,5	SM 4500-F /D
Cianeto	0,11	± 1,2%	mg CN.L <sup>-1</sup>	0,01	0,07	SM 4500-CN /E
Fenol	39,10	± 0,38%	mg C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH.L <sup>-1</sup>	0,01	0,01	SM 6420
Cloreto	273,5	± 2,6%	mg Cl.L <sup>-1</sup>	5,0	250	SM 4500-Cl /B

**Abreviaturas:**

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

**Referência das Metodologias:**

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos  
AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).  
USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

**Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08**

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020

Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 – Responsável Técnico

Página: 1 de 9

**AVENIDA DAS TORRES, 2281 - SÃO CRISTÓVÃO**  
**SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PR - CEP 83040-300**  
**CNPJ: 06.255.026/0001-67 - INSCR. MUNIC. 2810.2**  
**FONE: (41) 3398-3651 e 3081-4651**  
**teclab@teclabambiental.com.br**  
**www.teclabambiental.com.br**

**IAP CCL 002A**  
**REBLAS 064 / CRL 0504**  
**LICENÇA DE OPERAÇÃO (IAP): 169908-R1**

<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P5</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

## RELATÓRIO DE ENSAIO 00123813

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

### RESULTADOS PARA O EXTRATO SOLUBILIZADO

Sulfato	186,0	± 0,35%	mg SO <sub>4</sub> .L <sup>-1</sup>	5,0	250	SM 4500-SO <sub>4</sub> /E
Nitrato	65,0	± 2,3%	mg NO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup>	1,0	10,0	IAL/4ª edição
Surfactantes	15,00	± 6,1%	mg MBAS.L <sup>-1</sup>	0,20	0,5	SM 5540
Dureza	4.556,7	± 0,32%	mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup>	5,0	250	SM 2340/C
Sólidos Dissolvidos Totais	2.233,4	± 1,1%	mg.L <sup>-1</sup>	10,0	---	SM 2540/C
pH	11,23	0,12 UpH	U pH	0,10	---	SM 4500-H <sup>+</sup> /B
Cor	1.760,0	± 5,8%	UC	2,0	---	SM 2120/F
Turbidez	6,0	±0,26 NTU E.A.: ±0,7%	NTU	0,5	---	SM 2130
Sólidos Totais	2.250,0	± 1,2%	mg.L <sup>-1</sup>	10,0	---	SM 2540/B

### RESULTADOS PARA A MASSA BRUTA

pH	11,30	0,12 UpH	U pH	0,10	2,0 a 12,5	SM 4500-H <sup>+</sup> /B
Densidade	1,51	NE	g.mL <sup>-1</sup>	0,10	---	Gravimetria
Carbono Orgânico Total	7,3	± 4,7%	%	0,1	---	SM 5310/C
Cádmio	< 1,0	± 0,93%	mg Cd.kg <sup>-1</sup>	1,0	---	EPA 7000B
Chumbo	8,8	± 2,5%	mg Pb.kg <sup>-1</sup>	1,0	---	EPA 7000B
Cromo	17,6	± 1,0%	mg Cr.kg <sup>-1</sup>	1,0	100	EPA 7000B
Mercúrio	< 10,0	± 10%	mg Hg.kg <sup>-1</sup>	10,0	100	SM 3111

#### Abreviaturas:

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

#### Referência das Metodologias:

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos  
AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).  
USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

#### Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 - Responsável Técnico



<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P5</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

## RELATÓRIO DE ENSAIO 00123813

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
<b>RESULTADOS PARA A MASSA BRUTA</b>						
Arsênio	< 10,0	± 8,2%	mg As.kg <sup>1</sup>	10,0	1000	EPA 7000B
Estanho	< 10,0	NE	mg Sn.kg <sup>1</sup>	10,0	---	EPA 7000B
Zinco	619,9	± 1,0%	mg Zn.kg <sup>1</sup>	1,0	---	EPA 7000B
Níquel	1,1	± 0,93%	mg Ni.kg <sup>1</sup>	1,0	---	EPA 7000B
Selênio	< 10,0	± 6,4%	mg Se.kg <sup>1</sup>	10,0	100	SM 3500-Se
Prata	< 1,0	± 0,93%	mg Ag.kg <sup>1</sup>	1,0	---	SM 3500-Ag
Antimônio	< 10,0	± 1,9%	mg Sb.kg <sup>1</sup>	10,0	1000	EPA 7000B
Vanádio	< 10,0	± 1,9%	mg V.kg <sup>1</sup>	10,0	1000	EPA 7000B
Bário	41,2	± 6,0%	mg Ba.kg <sup>1</sup>	10,0	---	EPA 7000B
Cobalto	< 1,0	± 0,89%	mg Co.kg <sup>1</sup>	1,0	1000	EPA 7000B
Berílio	< 1,0	NE	mg Be.kg <sup>1</sup>	1,0	100	EPA 7000B
Sólidos Totais	97,4	± 1,2%	%	0,1	---	SM 2540/G
Benzeno	< 0,10	±0,31%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,10	0,5	EPA 3890
Tolueno	< 0,10	±0,64%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,10	---	EPA 3890
Etilbenzeno	< 0,10	±0,91%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,10	---	EPA 3890
m/p xilenos	< 0,10	±1,6%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,10	---	EPA 3890
o-xilenos	< 0,10	±6,4%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,10	---	EPA 3890
Sulfeto	< 0,50	± 0,086%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,50	500	SM 4500-S/D
Cianeto	< 10,0	± 1,2%	mg CN.kg <sup>1</sup>	10,0	250	SM 4500-CN/E

### Abreviaturas:

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

### Referência das Metodologias:

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos  
AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).  
USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

### Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 – Responsável Técnico

Página: 3 de 9

**AVENIDA DAS TORRES, 2281 - SÃO CRISTÓVÃO**  
**SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PR - CEP 83040-300**  
**CNPJ: 06.255.026/0001-67 - INSCR. MUNIC. 2810.2**  
**FONE: (41) 3398-3651 e 3081-4651**  
**teclab@teclabambiental.com.br**  
**www.teclabambiental.com.br**

**IAP CCL 002A**  
**REBLAS 064 / CRL 0504**  
**LICENÇA DE OPERAÇÃO (IAP): 169908-R1**

<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P5</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

## RELATÓRIO DE ENSAIO 00123813

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

### RESULTADOS PARA A MASSA BRUTA

Fenol	8,15	± 0,086%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,01	5,0	SM 4500-S/D
Formaldeído	Ausente	± 0,74%	mg.kg <sup>-1</sup>	---	ausência	EPA 624

### RESULTADOS PARA O EXTRATO LIXIVIADO

Arsênio	< 0,10	± 8,2%	mg As.L <sup>-1</sup>	0,10	1,0	SM 3111
Bário	< 1,0	± 6,0%	mg Ba.L <sup>-1</sup>	1,0	70	SM 3500-Ba
Cádmio	< 0,005	± 0,93%	mg Cd.L <sup>-1</sup>	0,005	0,5	SM 3500-Cd
Chumbo	< 0,005	± 2,5%	mg Pb.L <sup>-1</sup>	0,005	1,0	SM 3500-Pb
Cromo	< 0,10	± 1,0%	mg Cr.L <sup>-1</sup>	0,10	5,0	SM 3500-Cr
Cromo Hexavalente	< 0,10	± 1,0%	mg Cr <sup>6+</sup> .L <sup>-1</sup>	0,10	---	SM 3500-Cr <sup>6+</sup>
Prata	< 0,005	± 0,93%	mg Ag.L <sup>-1</sup>	0,005	5,0	SM 3500-Ag
Mercúrio	< 0,01	± 10%	mg Hg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,1	SM 3111
Selênio	< 0,05	± 6,4%	mg Se.L <sup>-1</sup>	0,05	1,0	SM 3111
Fluoretos	3,85	± 4,9%	mg F.L <sup>-1</sup>	0,10	150	SM 4500-F /D
Cianeto	0,05	± 1,2%	mg CN.L <sup>-1</sup>	0,01	---	SM 4500-CN /E
Óleos e Graxas Totais	54,6	± 1,2%	mg.L <sup>-1</sup>	5,0	---	SM 2540/C
Fenol	10,60	± 0,38%	mg C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH.L <sup>-1</sup>	0,01	---	SM 6420
Benzeno	< 0,01	± 0,31 µg.L <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,5	EPA 3890
Benzo(a)pireno	< 0,01	± 8,1%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,07	EPA 8100
Cloreto de Vinila	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,5	EPA 624

#### Abreviaturas:

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

#### Referência das Metodologias:

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos  
AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).  
USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

#### Pedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020

Página: 4 de 9



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 - Responsável Técnico

**AVENIDA DAS TORRES, 2281 - SÃO CRISTÓVÃO**  
**SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PR - CEP 83040-300**  
**CNPJ: 06.255.026/0001-67 - INSCR. MUNIC. 2810.2**  
**FONE: (41) 3398-3651 e 3081-4651**  
**teclab@teclabambiental.com.br**  
**www.teclabambiental.com.br**

**IAP CCL 002A**  
**REBLAS 064 / CRL 0504**  
**LICENÇA DE OPERAÇÃO (IAP): 169908-R1**

<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P5</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

## RELATÓRIO DE ENSAIO 00123813

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

### RESULTADOS PARA O EXTRATO LIXIVIADO

Clorobenzeno	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	100	EPA 624
Clorofórmio	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	6,0	EPA 624
1,4 Diclorobenzeno	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	7,5	EPA 624
1,2 Dicloroetano	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	1,0	EPA 624
Tetracloreto de Carbono	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,2	EPA 624
2,4,5 Triclorofenol	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	400	EPA 624
2,4,6 Triclorofenol	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	20	EPA 624
Cresol	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	200	EPA 624
Hexaclorobenzeno	< 0,01	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,1	SM 6630
Metiletilcetona	< 0,01	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	200	SM 6630
Tetracloroetileno	< 0,01	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	4,0	SM 6630
Tricloroetileno	< 0,01	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	7,0	SM 6630
Aldrin + Dieldrin	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,003	SM 6630
Clordano	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,02	SM 6630
DDT+DDD+DDE	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,2	SM 6630
2,4 D	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	3,0	SM 6630
Endrin	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,06	SM 6630
Heptacloro epóxido + Heptacloro	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,003	SM 6630

#### Abreviaturas:

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

#### Referência das Metodologias:

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos  
AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).  
USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

#### Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 – Responsável Técnico

Página: 5 de 9

**AVENIDA DAS TORRES, 2281 - SÃO CRISTÓVÃO**  
**SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PR - CEP 83040-300**  
**CNPJ: 06.255.026/0001-67 - INSCR. MUNIC. 2810.2**  
**FONE: (41) 3398-3651 e 3081-4651**  
**teclab@teclabambiental.com.br**  
**www.teclabambiental.com.br**

**IAP CCL 002A**  
**REBLAS 064 / CRL 0504**  
**LICENÇA DE OPERAÇÃO (IAP): 169908-R1**



<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P5</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

## RELATÓRIO DE ENSAIO 00123813

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

### RESULTADOS PARA O EXTRATO LIXIVIADO

Lindano	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,2	SM 6630
Metoxicloro	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	2,0	SM 6630
Pentaclorofenol	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,9	SM 6630
Toxafeno	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,5	SM 6630
2,4,5-T	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,2	EPA 8021
2,4,5-TP	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	1,0	EPA 8021

**CONCLUSÕES:** A amostra analisada não atende ao Anexo G (Solubilizado) da ABNT NBR 10004:2004.  
A amostra analisada atende ao Anexo F (Lixiviado) da ABNT NBR 10004:2004.

**Abreviaturas:**  
E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

#### Referência das Metodologias:

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos  
AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).  
USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

#### Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 – Responsável Técnico



<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P5</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

## RELATÓRIO DE ENSAIO 00123813

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

### PATOGÊNICIDADE PARA MASSA BRUTA

Coliformes Termotolerantes	< 10	± 2,0%	UFC/g	10	---	SM 9225
Salmonella spp	< 10	± 6,8%	UFC/10g	10	---	SM 9260/B
Vírus Entéricos*	< 1	NE	UFF/g	1	**	Imunocromatografia

\*Vírus pesquisados: Adenovírus, Rotavírus e vírus do gênero Enterovírus  
 \*\* de acordo com a Norma ABNT NBR 10.004/04 a presença de vírus indica patogenicidade.

Valores de referência CONAMA 375 de 29 de agosto de 2006:

Tipos de lodo ou produto derivado	Concentração de patógenos
Tipo A	Coliformes Termotolerantes < 10 <sup>3</sup> NMP/g Salmonella ausência em 10g
Tipo B	Coliformes Termotolerantes < 10 <sup>6</sup> NMP/g

**CONCLUSÕES:** A amostra analisada atende ao item 4.2.1.5 Patogenicidade da Norma NBR 10.004 por não apresentar suspeita de conter microorganismos patogênicos, proteínas virais, plasmídios ou outro organismo citado em 4.2.1.5.1.

**Abreviaturas:**  
 E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
 L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

#### Referência das Metodologias:

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos  
 AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).  
 USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

#### Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
 Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
 CRQ 09904817 – Responsável Técnico

<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P5</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

## RELATÓRIO DE ENSAIO 00123813

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

### ECOTOXICIDADE PARA O EXTRATO SOLUBILIZADO

#### Teste de inibição da capacidade natatória de *Daphnia magna*

<b>Toxicidade Aguda com <i>Daphnia magna</i></b>	4	± 0,5%	FTD	1	---	ABNT NBR 12713/09
<b>Densidade da amostra:</b> 1,000 g/mL						
				CE50= 81,54 %		
<b>Salinidade da amostra:</b> 1,0 ‰						
<b>Oxigênio da amostra:</b> 4,11 mg/L						

FTD = 1 a amostra não apresenta toxicidade aguda. FTD > 1 a amostra apresenta toxicidade aguda.

CE 50 = Concentração efetiva de 50% da inibição natatória do organismo indicador

N.A: Não Aplicável, a amostra pura (concentração efetiva 100%) apresentou inibição Natatória inferior a 50%

**CONCLUSÕES:** A amostra analisada atende ao item 4.2.1.4 Toxicidade da Norma NBR 10.004 por não apresentar efeito nocivo decorrente da presença de agente ecotóxico.

Os resultados informados para Massa Bruta estão expressos em base seca.

#### Abreviaturas:

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Constá. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

#### Referência das Metodologias:

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos  
AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).  
USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

#### Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 – Responsável Técnico

Página: 8 de 9

**AVENIDA DAS TORRES, 2281 - SÃO CRISTÓVÃO**  
**SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PR - CEP 83040-300**  
**CNPJ: 06.255.026/0001-67 - INSCR. MUNIC. 2810.2**  
**FONE: (41) 3398-3651 e 3081-4651**  
**teclab@teclabambiental.com.br**  
**www.teclabambiental.com.br**

**IAP CCL 002A**  
**REBLAS 064 / CRL 0504**  
**LICENÇA DE OPERAÇÃO (IAP): 169908-R1**

<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P5</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

**RELATÓRIO DE ENSAIO 00123813**

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

**Conclusões:** A amostra analisada classifica-se como Classe II A: Não Inerte, conforme ABNT NBR 10004:2004.

**CADEIA DE CUSTÓDIA**

Inspeção do recebimento de amostras	Requisitos da amostra		
	Temperatura	Frascos	Observações
Cliente	Conforme	Conforme	Não há observações

**Data de início dos ensaios:** 22/09/2020

**Nome do solicitante:** Stephanie Meyer

**Data de término dos ensaios:** 13/10/2020

**Telefone para contato:** (41) 9 9792-5117

Os resultados deste relatório se aplicam à amostra conforme recebida.

Quaisquer informações referente à validade dos ensaios são de responsabilidade do solicitante, quando a amostragem não for realizada pelo TECLAB.

**Abreviaturas:**

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q: Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

**Referência das Metodologias:**

AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).

**Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08**

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 – Responsável Técnico

Página: 9 de 9



<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P11</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

## RELATÓRIO DE ENSAIO 00123814

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

### RESULTADOS PARA O EXTRATO SOLUBILIZADO

Ársênio	< 0,01	± 8,2%	mg As.L <sup>-1</sup>	0,01	0,01	SM 3111
Bário	< 0,50	± 6,0%	mg Ba.L <sup>-1</sup>	0,50	0,7	SM 3500-Ba
Cádmio	< 0,005	± 0,93%	mg Cd.L <sup>-1</sup>	0,005	0,005	SM 3500-Cd
Chumbo	< 0,005	± 2,5%	mg Pb.L <sup>-1</sup>	0,005	0,01	SM 3500-Pb
Cromo	< 0,05	± 1,0%	mg Cr.L <sup>-1</sup>	0,05	0,05	SM 3500-Cr
Mercúrio	< 0,001	± 10%	mg Hg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,001	SM 3111
Prata	< 0,005	± 0,93%	mg Ag.L <sup>-1</sup>	0,005	0,05	SM 3500-Ag
Selênio	< 0,01	± 6,4%	mg Se.L <sup>-1</sup>	0,01	0,01	SM 3111
Manganês	0,160	± 0,9%	mg Mn.L <sup>-1</sup>	0,005	0,1	SM 3500-Mn
Ferro	3,30	± 0,92%	mg Fe.L <sup>-1</sup>	0,03	0,3	SM 3500-Fe
Cobre	0,340	± 2,5%	mg Cu.L <sup>-1</sup>	0,005	2,0	SM 3500-Cu
Alumínio	24,50	NE	mg Al.L <sup>-1</sup>	0,02	0,2	ISO 10566 E30
Sódio	660,0	± 5,9%	mg Na.L <sup>-1</sup>	5,0	200	SM 3500-Na/B
Zinco	0,300	± 1,0%	mg Zn.L <sup>-1</sup>	0,005	5,0	SM 3500-Zn
Fluoretos	7,40	± 4,9%	mg F.L <sup>-1</sup>	0,10	1,5	SM 4500-F /D
Cianeto	0,20	± 1,2%	mg CN.L <sup>-1</sup>	0,01	0,07	SM 4500-CN /E
Fenol	18,40	± 0,38%	mg C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH.L <sup>-1</sup>	0,01	0,01	SM 6420
Cloreto	239,9	± 2,6%	mg Cl.L <sup>-1</sup>	5,0	250	SM 4500-Cl /B

#### Abreviaturas:

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

#### Referência das Metodologias:

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos  
AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).  
USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

#### Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 – Responsável Técnico

Página: 1 de 9

**AVENIDA DAS TORRES, 2281 - SÃO CRISTÓVÃO**  
**SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PR - CEP 83040-300**  
**CNPJ: 06.255.026/0001-67 - INSCR. MUNIC. 2810.2**  
**FONE: (41) 3398-3651 e 3081-4651**  
**teclab@teclabambiental.com.br**  
**www.teclabambiental.com.br**

**IAP CCL 002A**  
**REBLAS 064 / CRL 0504**  
**LICENÇA DE OPERAÇÃO (IAP): 169908-R1**

<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P11</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

## RELATÓRIO DE ENSAIO 00123814

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

### RESULTADOS PARA O EXTRATO SOLUBILIZADO

Sulfato	1.455,0	± 0,35%	mg SO <sub>4</sub> .L <sup>-1</sup>	5,0	250	SM 4500-SO <sub>4</sub> /E
Nitrato	46,0	± 2,3%	mg NO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup>	1,0	10,0	IAL/4ª edição
Surfactantes	14,00	± 6,1%	mg MBAS.L <sup>-1</sup>	0,20	0,5	SM 5540
Dureza	1.093,6	± 0,32%	mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup>	5,0	250	SM 2340/C
Sólidos Dissolvidos Totais	983,4	± 1,1%	mg.L <sup>-1</sup>	10,0	---	SM 2540/C
pH	11,24	0,12 UpH	U pH	0,10	---	SM 4500-H <sup>+</sup> /B
Cor	94,0	± 5,8%	UC	2,0	---	SM 2120/F
Turbidez	15,0	±0,26 NTU E.A.: ±0,7%	NTU	0,5	---	SM 2130
Sólidos Totais	1.000,0	± 1,2%	mg.L <sup>-1</sup>	10,0	---	SM 2540/B

### RESULTADOS PARA A MASSA BRUTA

pH	11,69	0,12 UpH	U pH	0,10	2,0 a 12,5	SM 4500-H <sup>+</sup> /B
Densidade	2,02	NE	g.mL <sup>-1</sup>	0,10	---	Gravimetria
Carbono Orgânico Total	7,8	± 4,7%	%	0,1	---	SM 5310/C
Cádmio	< 1,0	± 0,93%	mg Cd.kg <sup>-1</sup>	1,0	---	EPA 7000B
Chumbo	2,3	± 2,5%	mg Pb.kg <sup>-1</sup>	1,0	---	EPA 7000B
Cromo	37,7	± 1,0%	mg Cr.kg <sup>-1</sup>	1,0	100	EPA 7000B
Mercúrio	< 10,0	± 10%	mg Hg.kg <sup>-1</sup>	10,0	100	SM 3111

#### Abreviaturas:

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

#### Referência das Metodologias:

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos  
AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).  
USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

#### Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 - Responsável Técnico

<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P11</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

## RELATÓRIO DE ENSAIO 00123814

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
<b>RESULTADOS PARA A MASSA BRUTA</b>						
Arsênio	< 10,0	± 8,2%	mg As.kg <sup>1</sup>	10,0	1000	EPA 7000B
Estanho	< 10,0	NE	mg Sn.kg <sup>1</sup>	10,0	---	EPA 7000B
Zinco	261,7	± 1,0%	mg Zn.kg <sup>1</sup>	1,0	---	EPA 7000B
Níquel	3,8	± 0,93%	mg Ni.kg <sup>1</sup>	1,0	---	EPA 7000B
Selênio	< 10,0	± 6,4%	mg Se.kg <sup>1</sup>	10,0	100	SM 3500-Se
Prata	< 1,0	± 0,93%	mg Ag.kg <sup>1</sup>	1,0	---	SM 3500-Ag
Antimônio	< 10,0	± 1,9%	mg Sb.kg <sup>1</sup>	10,0	1000	EPA 7000B
Vanádio	< 10,0	± 1,9%	mg V.kg <sup>1</sup>	10,0	1000	EPA 7000B
Bário	47,6	± 6,0%	mg Ba.kg <sup>1</sup>	10,0	---	EPA 7000B
Cobalto	< 1,0	± 0,89%	mg Co.kg <sup>1</sup>	1,0	1000	EPA 7000B
Berílio	< 1,0	NE	mg Be.kg <sup>1</sup>	1,0	100	EPA 7000B
Sólidos Totais	98,5	± 1,2%	%	0,1	---	SM 2540/G
Benzeno	< 0,10	±0,31%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,10	0,5	EPA 3890
Tolueno	< 0,10	±0,64%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,10	---	EPA 3890
Etilbenzeno	< 0,10	±0,91%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,10	---	EPA 3890
m/p xilenos	< 0,10	±1,6%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,10	---	EPA 3890
o-xilenos	< 0,10	±6,4%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,10	---	EPA 3890
Sulfeto	< 0,50	± 0,086%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,50	500	SM 4500-S/D
Cianeto	< 10,0	± 1,2%	mg CN.kg <sup>1</sup>	10,0	250	SM 4500-CN/E

### Abreviaturas:

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

### Referência das Metodologias:

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos  
AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).  
USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

### Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020

Página: 3 de 9



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 – Responsável Técnico

**AVENIDA DAS TORRES, 2281 - SÃO CRISTÓVÃO**  
**SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PR - CEP 83040-300**  
**CNPJ: 06.255.026/0001-67 - INSCR. MUNIC. 2810.2**  
**FONE: (41) 3398-3651 e 3081-4651**  
**teclab@teclabambiental.com.br**  
**www.teclabambiental.com.br**

**IAP CCL 002A**  
**REBLAS 064 / CRL 0504**  
**LICENÇA DE OPERAÇÃO (IAP): 169908-R1**



<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P11</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

## RELATÓRIO DE ENSAIO 00123814

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

### RESULTADOS PARA A MASSA BRUTA

Fenol	4,10	± 0,086%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,10	5,0	SM 4500-S/D
Formaldeído	Ausente	± 0,74%	mg.kg <sup>-1</sup>	---	ausência	EPA 624

### RESULTADOS PARA O EXTRATO LIXIVIADO

Arsênio	< 0,10	± 8,2%	mg As.L <sup>-1</sup>	0,10	1,0	SM 3111
Bário	< 1,0	± 6,0%	mg Ba.L <sup>-1</sup>	1,0	70	SM 3500-Ba
Cádmio	< 0,005	± 0,93%	mg Cd.L <sup>-1</sup>	0,005	0,5	SM 3500-Cd
Chumbo	< 0,005	± 2,5%	mg Pb.L <sup>-1</sup>	0,005	1,0	SM 3500-Pb
Cromo	< 0,10	± 1,0%	mg Cr.L <sup>-1</sup>	0,10	5,0	SM 3500-Cr
Cromo Hexavalente	< 0,10	± 1,0%	mg Cr <sup>6+</sup> .L <sup>-1</sup>	0,10	---	SM 3500-Cr <sup>6+</sup>
Prata	< 0,005	± 0,93%	mg Ag.L <sup>-1</sup>	0,005	5,0	SM 3500-Ag
Mercurio	< 0,01	± 10%	mg Hg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,1	SM 3111
Selênio	< 0,05	± 6,4%	mg Se.L <sup>-1</sup>	0,05	1,0	SM 3111
Fluoretos	1,62	± 4,9%	mg F.L <sup>-1</sup>	0,10	150	SM 4500-F /D
Cianeto	0,01	± 1,2%	mg CN.L <sup>-1</sup>	0,01	---	SM 4500-CN /E
Óleos e Graxas Totais	150,3	± 1,2%	mg.L <sup>-1</sup>	5,0	---	SM 2540/C
Fenol	4,00	± 0,38%	mg C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH.L <sup>-1</sup>	0,01	---	SM 6420
Benzeno	< 0,01	± 0,31 µg.L <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,5	EPA 3890
Benzo(a)pireno	< 0,01	± 8,1%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,07	EPA 8100
Cloreto de Vinila	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,5	EPA 624

#### Abreviaturas:

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

#### Referência das Metodologias:

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos  
AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).  
USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

#### Pedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020

Página: 4 de 9



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 – Responsável Técnico

**AVENIDA DAS TORRES, 2281 - SÃO CRISTÓVÃO**  
**SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PR - CEP 83040-300**  
**CNPJ: 06.255.026/0001-67 - INSCR. MUNIC. 2810.2**  
**FONE: (41) 3398-3651 e 3081-4651**  
**teclab@teclabambiental.com.br**  
**www.teclabambiental.com.br**

**IAP CCL 002A**  
**REBLAS 064 / CRL 0504**  
**LICENÇA DE OPERAÇÃO (IAP): 169908-R1**

<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P11</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

## RELATÓRIO DE ENSAIO 00123814

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

### RESULTADOS PARA O EXTRATO LIXIVIADO

Clorobenzeno	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	100	EPA 624
Clorofórmio	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	6,0	EPA 624
1,4 Diclorobenzeno	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	7,5	EPA 624
1,2 Dicloroetano	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	1,0	EPA 624
Tetracloreto de Carbono	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,2	EPA 624
2,4,5 Triclorofenol	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	400	EPA 624
2,4,6 Triclorofenol	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	20	EPA 624
Cresol	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	200	EPA 624
Hexaclorobenzeno	< 0,01	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,1	SM 6630
Metiletilcetona	< 0,01	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	200	SM 6630
Tetracloroetileno	< 0,01	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	4,0	SM 6630
Tricloroetileno	< 0,01	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	7,0	SM 6630
Aldrin + Dieldrin	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,003	SM 6630
Clordano	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,02	SM 6630
DDT+DDD+DDE	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,2	SM 6630
2,4 D	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	3,0	SM 6630
Endrin	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,06	SM 6630
Heptacloro epóxido + Heptacloro	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,003	SM 6630

#### Abreviaturas:

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

#### Referência das Metodologias:

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos  
AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).  
USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

#### Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020

Página: 5 de 9



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 – Responsável Técnico

**AVENIDA DAS TORRES, 2281 - SÃO CRISTÓVÃO**  
**SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PR - CEP 83040-300**  
**CNPJ: 06.255.026/0001-67 - INSCR. MUNIC. 2810.2**  
**FONE: (41) 3398-3651 e 3081-4651**  
**teclab@teclabambiental.com.br**  
**www.teclabambiental.com.br**

**IAP CCL 002A**  
**REBLAS 064 / CRL 0504**  
**LICENÇA DE OPERAÇÃO (IAP): 169908-R1**



<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P11</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

## RELATÓRIO DE ENSAIO 00123814

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

### RESULTADOS PARA O EXTRATO LIXIVIADO

Lindano	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,2	SM 6630
Metoxicloro	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	2,0	SM 6630
Pentaclorofenol	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,9	SM 6630
Toxafeno	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,5	SM 6630
2,4,5-T	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,2	EPA 8021
2,4,5-TP	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	1,0	EPA 8021

**CONCLUSÕES:** A amostra analisada não atende ao Anexo G (Solubilizado) da ABNT NBR 10004:2004.  
A amostra analisada atende ao Anexo F (Lixiviado) da ABNT NBR 10004:2004.

**Abreviaturas:**  
E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

#### Referência das Metodologias:

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos  
AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).  
USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

#### Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 – Responsável Técnico

<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P11</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

## RELATÓRIO DE ENSAIO 00123814

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

### PATOGÊNICIDADE PARA MASSA BRUTA

Coliformes Termotolerantes	< 10	± 2,0%	UFC/g	10	---	SM 9225
Salmonella spp	< 10	± 6,8%	UFC/10g	10	---	SM 9260/B
Vírus Entéricos*	< 1	NE	UFF/g	1	**	Imunocromatografia

\*Vírus pesquisados: Adenovírus, Rotavírus e vírus do gênero Enterovírus  
 \*\* de acordo com a Norma ABNT NBR 10.004/04 a presença de vírus indica patogenicidade.

Valores de referência CONAMA 375 de 29 de agosto de 2006:

Tipos de lodo ou produto derivado	Concentração de patógenos
Tipo A	Coliformes Termotolerantes < 10 <sup>3</sup> NMP/g Salmonella ausência em 10g
Tipo B	Coliformes Termotolerantes < 10 <sup>6</sup> NMP/g

**CONCLUSÕES:** A amostra analisada atende ao item 4.2.1.5 Patogenicidade da Norma NBR 10.004 por não apresentar suspeita de conter microorganismos patogênicos, proteínas virais, plasmídios ou outro organismo citado em 4.2.1.5.1.

**Abreviaturas:**  
 E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
 L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

#### Referência das Metodologias:

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos  
 AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).  
 USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

#### Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
 Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
 CRQ 09904817 – Responsável Técnico



**TECLAB**<sup>®</sup>  
Tecnologia em Análises Laboratoriais

Solicitante: <b>STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
Endereço: <b>RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
Local de Coleta: <b>UFPR</b>	Data de Recebimento: <b>22/09/2020 12:00</b>
Ponto de Coleta: <b>P11</b>	Condições do Tempo: <b>NUBLADO</b>
Tipo de Amostra: <b>RESÍDUO SÓLIDO</b>	Tipo de Amostragem: <b>PONTUAL</b>
Data e Hora de Coleta: <b>22/09/2020 11:30</b>	Amostrador: <b>CLIENTE</b>
Observações: ----	

**RELATÓRIO DE ENSAIO 00123814**

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

**ECOTOXICIDADE PARA O EXTRATO SOLUBILIZADO**

**Teste de inibição da capacidade natatória de  
Daphnia magna**

Toxicidade Aguda com *Daphnia magna* 4 ± 0,5% FTD 1 --- ABNT NBR 12713/09

Densidade da amostra: 1,000 g/mL

CE50= 82,11 %

Salinidade da amostra: 1,0 ‰

Oxigênio da amostra: 3,96 mg/L

FTD = 1 a amostra não apresenta toxicidade aguda. FTD > 1 a amostra apresenta toxicidade aguda.

CE 50 = Concentração efetiva de 50% da inibição natatória do organismo indicador

N.A: Não Aplicável, a amostra pura (concentração efetiva 100%) apresentou inibição Natatória inferior a 50%

**CONCLUSÕES:** A amostra analisada atende ao item 4.2.1.4 Toxicidade da Norma NBR 10.004 por não apresentar efeito nocivo decorrente da presença de agente ecotóxico.

Os resultados informados para Massa Bruta estão expressos em base seca.

**Abreviaturas:**

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida (95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

**Referência das Metodologias:**

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos / NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos / NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos

AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).

USEPA REST METHODS - Physical/Chemical Methods (Environmental Agency Protection) / Revista Instituto Adolfo Lutz

**Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08**

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020

Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 – Responsável Técnico

Página: 8 de 9

**AVENIDA DAS TORRES, 2281 - SÃO CRISTÓVÃO  
SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PR - CEP 83040-300  
CNPJ: 06.255.026/0001-67 - INSCR. MUNIC. 2810.2  
FONE: (41) 3398-3651 e 3081-4651  
teclab@teclabambiental.com.br  
www.teclabambiental.com.br**

**IAP CCL 002A  
REBLAS 064 / CRL 0504  
LICENÇA DE OPERAÇÃO (IAP): 169908-R1**



<b>Solicitante: STEPHANIE MEYER PIAZZA</b>	
<b>Endereço: RUATAVARES DE LYRA, 2276 - SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR</b>	
<b>Local de Coleta: UFPR</b>	<b>Data de Recebimento: 22/09/2020 12:00</b>
<b>Ponto de Coleta: P11</b>	<b>Condições do Tempo: NUBLADO</b>
<b>Tipo de Amostra: RESÍDUO SÓLIDO</b>	<b>Tipo de Amostragem: PONTUAL</b>
<b>Data e Hora de Coleta: 22/09/2020 11:30</b>	<b>Amostrador: CLIENTE</b>
<b>Observações: ---</b>	

## RELATÓRIO DE ENSAIO 00123814

Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
-----------	-----------	------	---------	------	--------	--------

**Conclusões:** A amostra analisada classifica-se como Classe II A: Não Inerte, conforme ABNT NBR 10004:2004.

### CADEIA DE CUSTÓDIA

Inspeção do recebimento de amostras	Requisitos da amostra		
	Temperatura	Frascos	Observações
Cliente	Conforme	Conforme	Não há observações

**Data de início dos ensaios:** 22/09/2020

**Nome do solicitante:** Stephanie Meyer

**Data de término dos ensaios:** 13/10/2020

**Telefone para contato:** (41) 9 9792-5117

Os resultados deste relatório se aplicam à amostra conforme recebida.

Quaisquer informações referente à validade dos ensaios são de responsabilidade do solicitante, quando a amostragem não for realizada pelo TECLAB.

#### Abreviaturas:

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida ( 95% de Confiança) / I.E. metais : sem contemplação da concentração da amostra.  
L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco" / NA: Não se aplica.

#### Referência das Metodologias:

AWWA-APHA-WPCI - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).

#### Procedimento de amostragem e coleta de ambiental: POA.COL.01, versão 20 e POA.COL.03, versão 08

Os Valores são restritos a amostra analisada no Laboratório.

A amostra ficará disponível por 7 dias após a emissão do Relatório de Ensaio.

O Relatório de Ensaio é reproduzido por completo.

O laboratório considera a Incerteza Expandida do ensaio para a Declaração de Conformidade, quando aplicável.

São José dos Pinhais, 16/10/2020



Msc. Luis Felipe Onisanti Knapik  
Mestre em Ciências e Tecnologia Ambiental  
CRQ 09904817 – Responsável Técnico

### **APÊNDICE 3 – APLICAÇÃO EPIP**

## EXCEL EPIP – PREENCHIDO

[illegible]





CUSTO DE GESTÃO AMBIENTAL (CGA)												
Descrição de Aspecto Ambiental	Saída (Produto / Resíduo)	Descrição do custo	Quantidade Total de Entrada	Quantidade Total de Saída (MOUT)	Massa Equivalente Total	CGA1	CGA2	CGA3	CGA(n)			
4 Geração de cinza de queima em caldeira	Cinza		1500,0	1200,0	1500,0	0	0	0	0,00			
5 Geração de vapor	Vapor de água		1500,0	150,0	1500,0	0	0	0	0,00			
6 Produção de água aquecida	Água aquecida		1500,0	50,0	1500,0	0	0	0	0,00			
7 Geração de gases	Gases de queima		1500,0	50,0	1500,0	0	0	0	0,00			
8 Geração de Material Particulado	Material particulado		1500,0	50,0	1500,0	0	0	0	0,00			
9 Geração de casca	Casca		1000,0	294,0	1000,0	0	0	0	0,00			
10 Geração de Tóxico limpo	Tóxico limpo		1000,0	566,0	1000,0	0	0	0	0,00			
11 Geração de Metais	Metais		1000,0	10,0	1000,0	0	0	0	0,00			
12 Geração de Areia	Areia		1000,0	120,0	1000,0	0	0	0	0,00			
13 Geração de Pedras	Pedras		1000,0	10,0	1000,0	0	0	0	0,00			
14 Geração de lodo físico-químico	Lodo FQ úmido		5152,0	400,0	5152,0	0	0	0	0,00			
15 Geração de efluente tratado	Efluente tratado		5152,0	4752,0	5152,0	0	0	0	0,00			
16 Geração de lodo seco	Lodo seco		10,0	4,0	10,0	0	0	0	0,00			
17 Geração de vapor de água	Vapor de água		10,0	6,0	10,0	0	0	0	0,00			
18 Geração do tipo	tipo		20,0	20,0	20,0	0	0	0	0,00			
19 0	0		0,0	0,0	0,0	0	0	0	#DIV/0!			
20 0	0		0,0	0,0	0,0	0	0	0	#DIV/0!			
21 0	0		0,0	0,0	0,0	0	0	0	#DIV/0!			
22 0	0		0,0	0,0	0,0	0	0	0	#DIV/0!			
23 0	0		0,0	0,0	0,0	0	0	0	#DIV/0!			
24 0	0		0,0	0,0	0,0	0	0	0	#DIV/0!			
25 0	0		0,0	0,0	0,0	0	0	0	#DIV/0!			
26 0	0		0,0	0,0	0,0	0	0	0	#DIV/0!			
27 0	0		0,0	0,0	0,0	0	0	0	#DIV/0!			
28 0	0		0,0	0,0	0,0	0	0	0	#DIV/0!			

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA ADAPTADO (AICV adaptado)													
Nº Aspecto Ambiental (n)	Saída (Produto / Resíduo)	Quantidade Total de Saída (MOUT)	CE(kW.h)	PE(%) (0-1)	Bulk waste and Hazardous waste	Water scarcity index	Renewable energy	% RE	Non-renewable energy	% NRE	Non-renewable energy	Global warming	Human i
56 0	0	0	0,00	0,00	Escória e Cinzas	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
57 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
58 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
59 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
60 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
61 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
62 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
63 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
64 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
65 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
66 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
67 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
68 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
69 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
70 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
71 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
72 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
73 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
74 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
75 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
76 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
77 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
78 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
79 0	0	0	0,00	0,00	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0	Não aplicável	0	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável



